

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

MERITORJUNTAOHJUSTEN TORJUNTAMAHDOLLISUUS OHJUSVENEELLÄ

Pro gradu tutkielma

Kadetti
Aarno Kolehmainen

Merikadettikurssi 75
Laivastolinja

Maaliskuu 2009

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Merikadettikurssi 75	Linja Merivoimat / Laivastolinja
Tekijä Kadetti Aarno Kolehmainen	
Tutkielman nimi MERITORJUNTAOHJUSTEN TORJUNTAMAHDOLLISUUS OHJUSVENEELLÄ	
Oppiaine, johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MpKK:n kirjasto)
Aika Maaliskuu 2009	Sivumäärä Tekstisivuja 56, Liitesivuja 2
TIIVISTELMÄ <p>Nopeammat, kauaskantoisemmat ja yhä tehokkaammat meritorjuntaohjukset muodostavat edelleen suuren uhan pintataistelualukselle. Mahdolliset ohjusten kohteet vaativat kehittyneempiä ja suorituskykyisempiä torjuntajärjestelmiä. Vaikkakin useimpien mielestä ilmaherruuden ylläpitäminen on tehokkain torjuntakeino meritorjuntaohjuksia vastaan, on etenkin saaristossa tai lähellä rannikkoa tapahtuvissa operaatioissa aluksen omasuojan merkitys erityisen suuri.</p> <p>Tutkimuksessa tarkastellaan kuvitteellisen ohjusveneen kykyä torjua alusta vastaan kohdistuva meritorjuntaohjushyökkäys. Työssä tarkastellaan aluksen mahdollisuuksia havaita ja torjua yksittäinen meritorjuntaohjus aluksen omilla järjestelmillä.</p> <p>Tutkimus on luonteeltaan teoreettinen. Lähdeaineiston ja matemaattisen mallin avulla pyritään tarkastelemaan ohjusveneen kykyä vastata meritorjuntaohjuksen aiheuttamaan alukseen kohdistuvaa uhkaa vastaan. Lisäksi pyritään antamaan työkalu, jonka avulla voidaan tarkastella yksittäisen aluksen meritorjuntaohjuksen torjuntavalmiutta.</p> <p>Tutkimuksen pääkysymys on: millainen kyky ohjusveneellä on torjua meritorjuntaohjus? Lisäksi tutkimuksessa selvitetään minkälaisia ominaisuuksia meritorjuntaohjuksella on, pohditaan meritorjuntaohjuksen tulevaisuuden kehitysnäkymiä sekä sitä, millä tavalla torjuntamahdollisuuksia voidaan parantaa tulevaisuudessa.</p> <p>Tutkimusaineistona ovat julkiset lähteet ja tutkimusmenetelmä perustuu näiden asiakirjojen tutkimiseen sekä matemaattisen mallin luomiseen tutkittaessa meritorjuntaoh-</p>	

juksen torjuntaa.

Tutkimuksessa ilmeni, että ohjuksen torjunnan kannalta ajan merkitys tulee korostumaan tulevaisuudessa. Käytettävissä oleva aika tulee merkittävästi lyhenemään joh-tuen meritorjuntaohjuksen kehityksestä. Ajan lyheneminen aiheuttaa muutoksia torjunnan järjestelyihin. Torjunta toteutetaan enenevässä määrin automaattisesti.

Matemaattisella mallilla tehtiin viisi eri laskentaa. Kukikin laskenta suoritettiin viisi-kymmentä kertaa eli yhteensä laskuja oli 250 kappaletta. Matemaattisen mallin tulokset ovat suuntaa-antavia sille päätelmälle, että nykyaikaisen ohjusveneen kyky torjua tällä hetkellä käytössä olevia meritorjuntaohjuksia on hyvä. Tulevaisuudessa kuitenkin lyhyt reagointiaika oletettavasti aiheuttaa uusia haasteita ohjusten torjunnalle. Mallin todettiin lisäksi olevan erittäin edullinen tapa hankkia tietoa eri torjuntaosa-alueiden merkityksestä.

AVAINSANAT

Sotatekniikka, Ohjukset, Merimaaliohjukset, Ohjusten torjunta, Omasuojajärjestelmät, Meritorjuntaohjukset, Hamina-luokka

MERITORJUNTAOHJUSTEN TORJUNTAMAHDOLLISUUS OHJUSVENEELLÄ

1. JOHDANTO	1
2. TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT	4
2.1 Tutkimuksen päämäärä, tarkoitus ja rajaus	4
2.2 Viitekehys	6
2.3 Tutkimusmenetelmä, tutkimusongelmat ja aikaisemmat tutkimukset	7
2.4 Lähdekritiikki	8
2.5 Tärkeimmät käsitteet	9
3. HAMINA-LUOKAN SENSORIT JA ASEET	12
3.1 Hamina-luokan kuvaus	12
3.2 Sensorit	13
3.3 Aseet	14
3.4 Taistelunjohtojärjestelmä	21
4. MERITORJUNTAOHJUS	22
4.1 Yleistä	22
4.2 Eri meritorjuntaohjusten ominaisuuksia	23
4.3 Meritorjuntaohjuksen kehitys	25
4.3.1 Hakupää	27
4.3.2 Taisteluosa	28
4.3.3 Runko	30
4.3.4 Moottori	31

5. OHJUKSEN TORJUNTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	33
5.1 Yleistä	33
5.2 Aika	35
5.3 Käytettävissä olevat järjestelmät	37
5.3.1 Ammusilmatorjunta	37
5.3.2 Ohjusilmatorjunta	39
5.3.3 Harhamaalin heittimet ja elektroninen häirintä	40
5.3.4 Tutkat ja elektroninen tiedustelu	41
5.4 Tulevaisuuden järjestelmät	41
 6. OHJUKSEN TORJUNNAN MATEMAATTINEN TARKASTELU	43
6.1 Järjestelyiden kuvaus ja rajaukset	43
6.2 Tulokset	47
6.3 Johtopäätökset	52
 7. YHTEENVETO	55
 LÄHTEET	57
 LITTEET	61

MERITORJUNTAOHJUSTEN TORJUNTAMAHDOLLISUUS OHJUSVENEELLÄ

1. JOHDANTO

Nopeammat, kauaskantoisemmat ja yhä tehokkaammat meritorjuntaohjukset muodostavat edelleen suuren uhan pintataistelualukselle. Mahdolliset ohjusten kohteet vaativat entistä kehittyneempiä ja suorituskykyisempiä torjuntajärjestelmiä. Vaikkakin useimpien mielestä ilmaherruuden ylläpitäminen on tehokkain torjuntakeino meritorjuntaohjuksia vastaan, on etenkin saaristossa tai lähellä rannikkoa tapahtuvissa operaatioissa aluksen omasuojan merkitys erityisen suuri [44].

Meritorjuntaohjuksen (MTO) kehittyminen aikaisempaa nopeammaksi ja vaikeammaksi havaita aiheuttaa suuria ongelmia ohjuksen torjunnassa. Lyhyt reagointiaika vaatii nopeita toimenpiteitä torjunnan aloittamiseksi. Nopea torjunnan aloittaminen taas vaatii entistä nopeampaa ja tehokkaampaa kykyä tunnistaa maali ja saada se seurantaan, jotta torjunta voidaan aloittaa. Toteutuakseen tämä edellyttää, että yhä useampi järjestelmä toimii automaattisesti tai lähes automaattisesti. Järjestelmien kyvyn torjua ohjus tulee vastata oletettuun uhkaan.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan ohjusveneen kykyä vastata meritorjuntaohjuksen aiheuttamaa alukseen kohdistuvaa uhkaa. Lisäksi pyritään antamaan työkalu matemaattisen mallin muodossa, jonka avulla voidaan tarkastella erilaisten ohjusveneiden kykyä torjua yksittäinen meritorjuntaohjus.

Tutkimus on jaettu seitsemään lukuun. Ensimmäinen, johdantoluku, tutustuttaa lukijan aiheeseen sekä esittelee tutkimusta yleisesti. Toinen luku käsittelee tutkimuksen lähtökohtia. Luvussa perustellaan minkä vuoksi tutkimus on tehty, sekä asetetaan tutkimuskysymykset ja rajataan tutkimuksen aihealue. Toinen luku pitää sisällään myös tutkimuksen sisällön ymmärtämisen kannalta tärkeimmät käsitteet.

Luvut kolme, neljä ja viisi luovat tutkimuksen teoreettisen pohjan.

Luvussa kolme esitellään Hamina-luokan ohjusvenettä. Hamina-luokan aluksen käsitteilyn tarkoituksena on luoda lukijalle kuva nykyaikaisesta ohjusveneestä. Luvussa kuvataan niitä aluksen sensoreita ja aseita, joilla ohjusvene kykenee reagoimaan meritorjuntaohjukseen. Matemaattisessa mallissa käytettävä kuvitteellinen alus muistuttaa osittain Hamina-luokan ohjusvenettä. Luku jakautuu kolmeen alalukuun, joista ensimmäinen käsittelee Hamina-luokan alusta yleisellä tasolla. Toinen alaluku esittelee aluksella olevat ohjuksen havaitsemiseen soveltuvat sensorit. Kolmannessa alaluvussa kerrotaan Hamina-luokan ohjusveneeseen aseistuksesta siltä osin kuin ne soveltuvat meritorjuntaohjuksen torjuntaan.

Neljäs luku käsittelee meritorjuntaohjusta. Luku on jaettu kolmeen alalukuun: yleistä, meritorjuntaohjuksen ominaisuudet, ja meritorjuntaohjuksen kehitys. Yleistä osiossa suoritetaan tässä tutkimuksessa tarkasteltavien meritorjuntaohjuksien jako kolmeen eri ryhmään sekä tarkastellaan näiden ryhmien välisiä eroja. Meritorjuntaohjuksen ominaisuuksia käsittelevässä luvussa on paneuduttu tällä hetkellä käytössä olevien ohjusten ominaisuuksiin. Meritorjuntaohjuksien kehitystä koskevassa alaluvussa tarkastellaan viimeaikaisen kehityksen lisäksi mahdollisia tulevaisuuden kehityssuuntia, sekä pohditaan minkälainen tulevaisuuden meritorjuntaohjus voisi olla.

Viides luku pitää sisällään meritorjuntaohjuksen torjuntaan vaikuttavat tekijät. Luvun tarkoitus on helpottaa lukijaa ymmärtämään matemaattiseen tarkasteluun vaikuttavat tekijät ja niiden vaikutus torjunnan onnistumiseen / epäonnistumiseen. Luku on jaettu neljään alalukuun, jotka käsittelevät seuraavia: yleisiä asioita, aikaa, käytössä olevia järjestelmiä sekä tulevaisuuden kehitystä ja näkymiä.

Kuudennessa luvussa on matemaattisesti mallinnettu kuvitteellisen ohjusveneeseen kykyä torjua meritorjuntaohjushyökkäys. Luku on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa esitetään matemaattisen mallin toteuttamista. Lisäksi tuodaan esille seikkoja, jotka on rajattu pois kyseisestä mallista. Toisessa osassa esitellään matemaattisin menetelmin saadut tulokset sekä pohditaan minkälaiset johtopäätökset niistä voidaan vetää. Seitsemäs luku pitää sisällään yhteenvedon tutkimuksesta.

Kirjoittajan kiinnostus aiheeseen heräsi kandidityön aikana, joka käsittelee meritorjuntaohjuksen kehitystä. Meritorjuntaohjuksen kehityksen tarkastelu sai ajattelemaan, olisiko matemaattisen mallin avulla mahdollista tarkastella meritorjuntaohjuksen torjun-

nan onnistumista. Kykenisikö malli antamaan lisätietoa minkälaisia järjestelyitä jatkossa joudutaan ohjusveneellä tekemään, mikäli halutaan torjua tulevaisuuden meritorjuntaohjus? Mahdollisesti mallia voisi hyödyntää opetuksessa, erilaisten näkökulmien tarkastelussa ja eri osatekijöiden painotuksessa.

2. TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

Tutkimuksessa tarkastellaan kuvitteellisen ohjusveneen kykyä torjua alusta vastaan kohdistuva meritorjuntaohjushyökkäys. Työssä tarkastellaan aluksen mahdollisuuksia havaita ja torjua yksittäinen meritorjuntaohjus aluksen omilla järjestelmillä.

2.1 Tutkimuksen päämäärä, tarkoitus ja rajaus

Tutkimuksen päämääränä on selvittää, millainen kyky nykyaikaisella ohjusveneellä on torjua meritorjuntaohjus. Lisäksi on tarkoitus antaa käsitys siitä, mihin meritorjuntaohjuksen kehitys on mahdollisesti menossa ja miten tämä kehitys tulee vaikuttamaan torjuntamahdollisuuksiin sekä torjunnan järjestelyihin. Samalla työ pyrkii antamaan ratkaisuja, joilla voidaan parantaa ohjuksen torjuntamahdollisuuksia.

Tutkimuksen pääkysymys on:

- Millainen kyky ohjusveneellä on torjua meritorjuntaohjus?

Tutkimuksen alakysymyksiä ovat:

- Minkälaisia ominaisuuksia meritorjuntaohjuksella on?
- Miten meritorjuntaohjus kehittyy tulevaisuudessa?
- Millä tavalla torjuntamahdollisuuksia voidaan parantaa tulevaisuudessa?

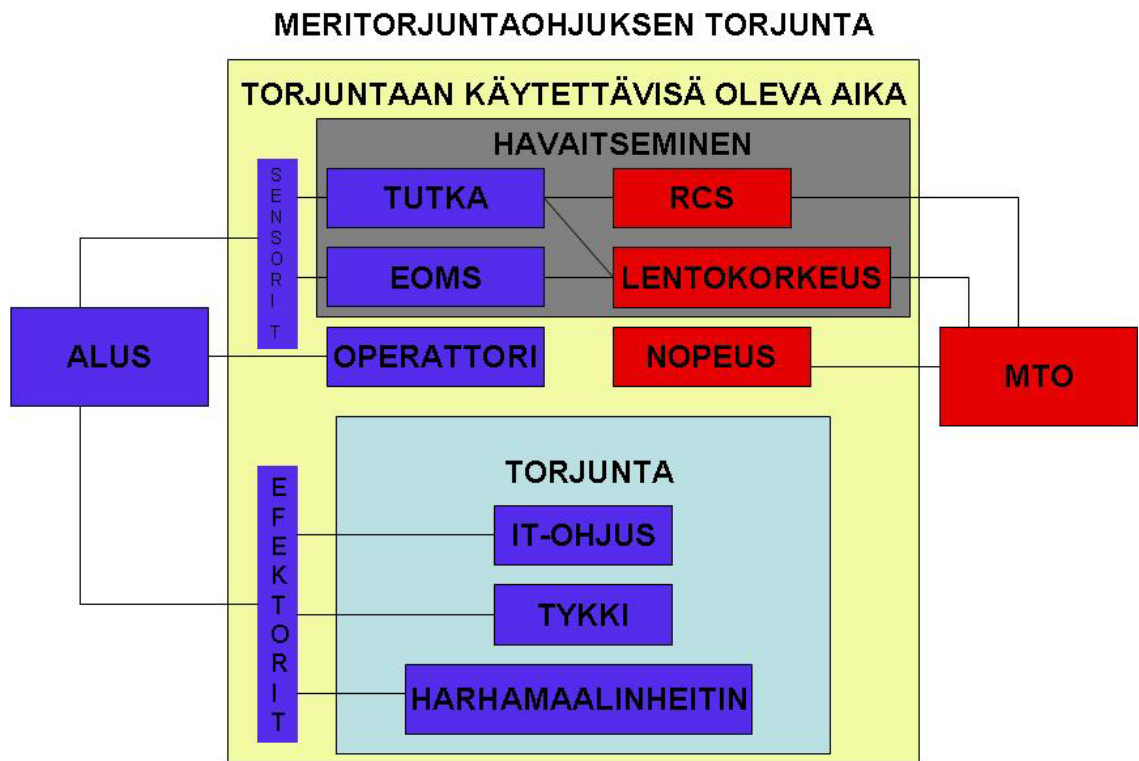
Työ on kokonaisuudessaan rajattu koskemaan vain kohti ammuttua ohjusta sekä torjuntaa suorittavaa alusta. Tällä tarkoitetaan sitä, ettei työssä oteta kantaa ohjuksen torjuntaan ennen kuin ohjus on jo ammuttu kohti alusta. Työssä ei myöskään oteta huomioon mahdollisia muita torjuvia yksiköitä, joita ohjusveneen toiminta-alueella saattaisi olla.

Tutkimukseen on kehitetty malli, jossa varioimalla mallin eri osatekijöitä voidaan päätellä torjunnan onnistumista. Tutkimuksen matemaattinen mallintaminen on rajattu koskemaan vain yhden ohjuksen hyökkäystä. Näin on tehty, jotta mallista saadaan riittävän yksinkertainen ja helposti toteutettava. Useamman kuin yhden ohjuksen mallintaminen vaatisi huomattavasti tarkempia tietoja järjestelmien suorituskyyvistä. Samalla malli rajoittautuisi koskemaan vain tietyn suorituskyyvyn omaavaa alusta. Mallintaminen on kokonaisuudessaan toteutettu siten, että alukseen eivät vaikuta muut kuin aluksen omat järjestelmät. Esimerkiksi sään ja ympäristön vaikutuksen tarkastelu on vaikeaa tai mahdotonta, koska vaikuttavat tekijät jouduttaisiin syöttämään sensoreiden ja aseiden lähtöarvoihin.

Matemaattisesta mallista on rajattu pois mahdollinen vastustajan aiheuttama elektroninen häirintä, joka kohdistuisi aluksen taistelunjohtojärjestelmään. Rajaus mahdollistaa suuntaa-antavien arvojen laskemisen, joita voidaan tarvittaessa hyödyntää eri häirintätilanteisiin. Näin on tehty, jotta malli on riittävän yksinkertainen ja sitä on mahdollista soveltaa useimpiin tilanteisiin sekä mahdollisesti eri aluksiin.

Tutkimus on myös rajattu käsittelemään ainoastaan julkista materiaalia. Tämä mahdollistaa työn paremman käytettävyyden ja saatavuuden. Mikäli matemaattisesta mallista halutaan saada tarkempi, jollekin tietylle olemassa olevalle alukselle soveltuva malli, voidaan siihen tarvittaessa sijoittaa tietyn aluksen ”kovat” arvot. Tällä tavalla saadaan todenmukaisemmat tulokset aluksen torjuntamahdollisuuksista.

2.2 Tutkimuksen viitekehys



Kuva 1: Viitekehys

Ohjuksen torjunnan voidaan ajatella kostuvan kahdesta osatekijästä. Nämä osatekijät ovat ohjus ja torjuva yksikkö eli alus. Näiden tekijöiden ominaisuuksista riippuu onnistuuko ohjuksen torjunta vai ei. Alukselle torjunnan kannalta erityisen ratkaisevia asioita ovat torjuntaan käytettävissä oleva aika sekä käytettävissä olevat järjestelmät jotka suorittavat torjunnan.

Käytettävissä olevaan aikaan vaikuttavat seuraavat tekijät: milloin ohjus kyetään havaitsemaan, milloin järjestelmä on valmis aloittamaan torjunnan, sekä operaattorin toimenpiteet. Torjunnan onnistumisen kannalta taas olennaista on efektoreiden kyky torjua maalia eli osumatodennäköisyys.

Ohjuksen kannalta ajateltuna onnistuneeseen ohjushyökkäykseen merkityksellisiä asioita ovat nopeus, havaittavuus sekä tarkkuus. Matemaattisessa mallissa on mallinnettu aluksen osalta tutka, EOMS, operaattori, ilmatorjuntaohjukset, tykki ja harhamaalin heitin, sekä ohjuksen osalta tutkapoikkipinta-ala, nopeus ja lentokorkeus.

2.3 Tutkimusmenetelmä, tutkimusongelmat ja aikaisemmat tutkimukset

Tutkimusmenetelmänä käytetään aineistotutkimuksen pohjalta tehtyä matemaattista mallia. Aineistotutkimuksen menetelmänä on kvalitatiivinen kirjallisuustutkimus ja kvalitatiivinen sisällönanalyysi. Tulen teho ja sen vaikutuksen arviointi pohjautuu todennäköisyyslaskentaan.

Kirjallisuustutkimuksessa aikaisemmin tuotettua tietoa etsitään, luokitellaan ja analysoidaan ja käytetään oman työn pohjana [32]. Kirjallisuustutkimuksessa kertyy suuri määrä tietoa, josta osa on tutkimuksen kannalta epäoleellista. Tärkeä tieto seulotaan epäoleellisesta tiedosta kvalitatiivisen sisältöanalyysin avulla.

Tutkimuksen pohjalta kehitetään matemaattinen malli, jonka avulla voidaan mallintaa meritorjuntaohjushyökkäys ohjusvenettä vastaan. Hyökkäyksen mallintamisen avulla pystytään keräämään tietoa riittävällä tarkkuudella, jotta voidaan selvittää, millainen puolustusjärjestelmä ohjusveneellä tulisi olla meritorjuntaohjushyökkäyksen torjumiseksi. Mallin avulla voidaan saada tietoa myös siitä, millaisia puolustusjärjestelyjä ohjusveneiltä tulevaisuudessa vaaditaan meritorjuntaohjushyökkäysten torjumiseksi. Matemaattisen mallin kehittelyn kautta voidaan myös tarkastella lähdemateriaalista löytyneen tiedon oikeellisuutta jossain määrin.

Yleisesti ohjuksen torjunnasta on tehty paljon tutkimuksia. Suurin osa viimeaikaisista ohjuksen torjunnan tutkimuksista on kuitenkin keskittynyt ballististen ohjuksen torjuntaan. Vastaavasti on olemassa myös eri tulentehoa ja -vaikutusta käsitteleviä simuloitiohjelmia ja matemaattisia malleja. Lähimpänä tässä työssä kehitettyä ohjelmaa voisi olla merisotakoulussakin käytössä oleva ohjelma, jolla voidaan laskea meritorjuntaohjuksen osumatodennäköisyyttä. Ohjelma ei kuitenkaan ota mielestäni riittävän hyvin ja monipuolisesti huomioon aluksen torjuntamahdollisuuksia, joita on tässä työssä pyritty kartoittamaan.

Viimeaikoina on tehty ainakin seuraavia suomalaisia tutkielmia, jotka läheisesti liittyvät aiheeseen: Iljina Iljan vuonna 2004 tekemä sotatieteiden kandidaatin tutkimus ”Meritorjuntaohjusten torjunta Venäjän laivaston pinta-aluksilla”, sekä Janne Metsänpään sotatieteiden kandidaatin tutkimus, joka käsittelee länsimaisten meritorjuntaohjusten kehitystä tähän päivään mennessä.

Tulevaisuudessa ANCS:illa on todennäköisesti mahdollista simuloida meritorjunta-ohjushyökkäyksiä. Tämän pitäisi olla hyvinkin helppoa, koska järjestelmä tekee jo tällä hetkellä uhka-arvioita lähestyvistä kohteista sekä laatii niihin torjuntasuositukset. Ongelmana on, ettei simuloidussa tilanteessa oleva maali tuhoudu, ellei käyttäjä itse tuhoa sitä. Ongelma johtuu todennäköisesti siitä, että järjestelmä on vielä uusi eikä kaikkia sen tarjoamia mahdollisuuksia ole vielä tutkittu tai otettu käyttöön.

2.4 Lähdekritiikki

Sotilaallisten järjestelmien suorituskykyä tutkittaessa on erittäin vaikeaa löytää luotettavaa tietoa. Tämä johtuu siitä, että osa tiedoista on järjestelmien valmistajien markkinointitarkoituksessa julkaisemia. Nämä tiedot voivat usein liioitella järjestelmien suorituskykyä. Sotilaskäyttöön tarkoitettujen järjestelmien tarkat suoritusarvot ovat usein tietoturvaluokiteltuja eli valmistajien ilmoittamat tiedot eivät välttämättä vastaa järjestelmien todellisia suoritusarvoja. Järjestelmien käyttäjillä on siis luotettavaa tietoa todellisista suoritusarvoista, mutta ulkopuolisten on erittäin vaikea saada tätä tietoa käyttöönsä. Kyseinen ongelma tulee esille myös tässä työssä, sillä tutkimuksen tekijä ei käyttänyt turvaluokiteltua aineistoa.

Koska lähdeaineisto on suurelta osin länsimaisen ajatusmallin omaavien kirjoittajien tekemää sekä asejärjestelmien valmistajien ilmoittamaa, lähteiden kriittinen tarkastelu on välttämätöntä. Tässä tutkimuksessa lähdeaineisto koostuu pääasiassa länsimaisista artikkeleista, teoksista, oppaista, raporteista sekä kadettien opetukseen käytetystä materiaalista. Länsimaisten lähteiden ongelma voi olla se, että ne korostavat länsimaisten asejärjestelmien suorituskykyä. Tällöin voi syntyä vaikutelma, että muiden alueiden asejärjestelmien suorituskyky on heikompi kuin länsimaissa.

Lähteiden todenperäisyyden ja painoarvon määrittämiseksi on arvioitu lähteen kirjoittajan asema ja auktoriteetti. Internetistä haettuja kuvia on vertailtu muissa lähteissä oleviin samaa aihetta esittäviin kuviin niiden todenperäisyyden varmistamiseksi. Järjestelmien suoritusarvoihin liittyvään ongelmaan on pyritty vastaamaan vertailemalla eri lähteiden antamia tietoja samasta järjestelmästä. Jos järjestelmästä ei ole löytynyt muita lähteitä, sen suoritusarvoja on verrattu mahdollisimman paljon samankaltaisen järjestelmän suoritusarvoihin.

2.5 Tärkeimmät käsitteet

ANCS, Advance Naval Combat System, Hamina-luokalla käytössä oleva taistelunjohtojärjestelmä.

Ajoaine, Ajoaineella tarkoitetaan ainetta tai aineiden seosta, jota käytetään tuottamaan ammuksen, ohjuksen, raketin tai ulkoisen kaasulla toimivan laitteen liike-energiaa [43].

COTS, Commercial Off-The-Shelf, Kaupallinen tuote, joka on yleisillä markkinoilla, esimerkiksi tietokoneen laitteistot.

Efektori, Efektoreilla tarkoitetaan tässä työssä niitä aluksen järjestelmiä, joilla kytetään vaikuttamaan kohteeseen.

Elektroninen häirintä on elektronisen hyökkäyksen osa-alue. Se on sähkömagneettisen säteily lähettämistä tai heijastamista tavoitteena kohteena olevan elektronisen järjestelmän tai välineen käytön vaikeuttaminen tai estäminen [37].

EMP, ElectroMagnetic Pulse eli sähkömagneettinen pulssi on lyhytkestoinen voimakas sähkömagneettinen aalto, joka osuessaan vaurioittaa elektroniikkaa ja sähkölaitteita [21].

EOMS, Electro-Optical Multifunction System on laite, jolla kytetään saamaan kohteen paikkatieto (suunta, korkeus ja etäisyys). Koostuu infrapunakamerasta, TV- kamerasta ja laseretäisyysmittarista [25].

Hakupää tässä työssä hakupäällä tarkoitetaan sitä osaa, jossa sijaitsevat itsenäisesti maalinhakeutuvan ohjuksen maalinlöytämiseksi tarvittavat sensorit.

Hybridimoottori moottori joka toiminnassa yhdistyy raketti- ja ilmareaktimoottorin periaatteet [35].

Häivetekniikka (stealth) on kohteen herätteen hallintaa emission ja heijastusten hallinnan keinoin pyrkimyksenä sovittaa kohteesta heijastuva ja kohteen itsensä emittoima heräte kohteen taustan herätteeseen koko spektrin alueella. Häivetekniikka

käsittää kaikki ne tekniset menetelmät, joilla kohteen herätettä pyritään hallitsemaan kohteen havaitsemisen, luokittelun, tunnistamisen ja paikantamisen viivästämiseksi tai estämiseksi [37].

Ilmatorjuntaohjus on ilmamaalien tuhoamiseen tarkoitettu ohjus.

IRST, InfaraRed Search and Track on laite, joka muodostaa passiivisesti lämmönlähteistä panoraama kuvaa. Laitetta voidaan jossakin määrin verrata tutkaan sillä erotuksella, että laite toimii passiivisesti eikä se saa etäisyystietoa.

Järjestelmä on useiden läheisesti yhteenkuuluvien, tietyssä suhteessa toisiinsa olevien, tietyn periaatteen mukaan järjestettyjen toimivien tai muiden sellaisten osien muodostama kokonaisuus [34].

Mach tai Machin luku on dimensioton luku, joka kuvaa virtauksen nopeutta suhteessa äänen nopeuteen väliaineessa. Sitä käytetään erityisesti aerodynamiikan sovelluksissa, jossa se kuvaa lentonopeuden suhdetta äänen nopeuteen ilmassa lentokorkeudella [20]. Tässä tutkimuksessa laskusuoritukset on laskettu merenpinnan arvoilla, jolloin 1,0 Mach vastaa 1223 km/h.

MTO, meritorjuntaohjus on maalta, mereltä tai ilmasta laukaistava merimaaleja vastaan tarkoitettu aerodynaaminen ohjus, jonka lentorata on yleensä optimoitu ohjustorjunnan vaikeuttamiseksi.

Ohjus on taistelulatauksen tai muun sotilaallisen hyötykuorman kuljettava miehittämätön taisteluväline, joka oman voimakoneensa kuljettamana liikkuu kohteeseensa ohjattuna tai ohjautuvasti [37].

Suunnatun energian aseilla (DEW, Directed Energy Weapons) tarkoitetaan aseita, jotka perustuvat suuritehoiseen radiotaajuuteen, optiseen pulssiin tai suurelle nopeudelle kiihdytettyihin hiukkasiin. Tavoitteena kohdentaa maaliin niin suuri hetkellinen energia, että se tuhoutuu tai vaurioituu [31].

Räjähdysaine on aine tai aineseos, joka sellaisenaan kemiallisesti reagoimalla kykenee muodostamaan kaasua, jonka lämpötila, paine ja muodostumisnopeus ovat sellaisia, että niistä aiheutuu vahinkoa aineen ympärillä [37].

RCS, (Radar Cross Section) tutkapoikkipinta-alalla tarkoitetaan kohteesta takiaisiin tutkaan heijastuvan säteilyn määrää, joka on verrannollinen kohteen kokoon ja muotoon. Mittayksikkönä käytetään (dB/m²) tai pelkästään (m²) [31].

3. HAMINA-LUOKAN SENSORIT JA ASEET

3.1 Hamina-luokan kuvaus

Hamina-luokan ohjusveneiden hankintapäätös tehtiin laivue 2000 hankintapäätöksen yhteydessä. Tällöin oli kuitenkin tarkoitus hankkia vain kaksi suurempaa johtamiskyistä ohjusvenettä ja 4–8 pienempää ilmatyynyä. Muuttuneet puolustusvoimien suorituskykyvaatimukset vuodelle 2010 aiheuttivat kuitenkin sen, ettei ilmatyynyä hankittaisi vaan ilmatyynyä tilalle rakennettaisiin kaksi ohjusvenettä lisää. Tämä johtui siitä, että suorituskykyvaatimukset 2010-luvulle olivat painottaneet meriyhteyksien suojaamista aiempaa enemmän, ja tätä tehtävää varten ohjusveneet soveltuvat ilmatyynyä huomattavasti paremmin [16].

Hamina-luokan alusten päätehtäviä ovat valvonta ja alueellisen koskemattomuuden turvaaminen, merellisen uhkan ja hyökkäysten torjunta sekä meriyhteyksien suojaaminen. Niiden suunnittelun pohjana ovat olleet Rauma-luokan ohjusveneet. Hamina-luokan suunnittelussa otettiin huomioon Rauma-luokan kokemusten perusteella havaitut asiat sekä painotettiin häiveominaisuuksien merkitystä [16]. Pienen kokonsa ja matalan syvyytensä ansiosta ne kykenevät liikkumaan koko saariston syvyydellä, sekä piiloutumaan saariston tarjoamaan suojaan.

Uppouma:	250 t
Mitat:	50.8 m × 8.3 m × 2 m
Koneisto:	2 MTU 16V 538 TB93 diesel, 3300 kW vesisuihkupropulsio
Nopeus:	+30 knt
Toimintasäde:	500 mpk / 30 knt
Henkilöstö:	27
Aseistus:	4 kpl Saab RBS 15SF, Meritorjuntaohjusta 8 kpl Umkhonto, IR-ilmatorjuntaohjusta Bofors 57 mm/L 70 Mk 3, Laivatykki 2 kpl 12,7 laivakonekivääriä 2 kpl Rheinmetall MASS-2L, Harhamaalinheitintä Miinakisko (miinat/syvyyspommit)
Sensorit:	EADS TRS-3D, Valvontatutka SAAB Ceros 200, Tulenjohtotutka Sagem Electro-Optical Multifunction System (EOMS) Thales SIEWS, Tutkavaroitussjärjestelmä
Taistelunjohtojärjestelmä:	EADS Advanced Naval Combat System (ANCS SQ 2000)

Taulukko 3.1: Taulukko esittelee Hamina-luokan aluksen pääominaisuudet [23, 19]

3.2 Sensorit

Aluksen sensorien tarkoituksena on kerätä tietoa alusta ympäröivästä maailmasta. Sensorien keräämän tiedon perusteella alus kykenee reagoimaan sen ympärillä tapahtuviin asioihin. Tässä tutkimuksessa keskitytään niihin sensoreihin, joilla on oleellista merkitystä ohjuksen torjunnan kannalta. Nämä sensorit liittyvät joko ohjuksen havaitsemiseen tai asejärjestelmien käyttöön.

TRS-3D Tutka



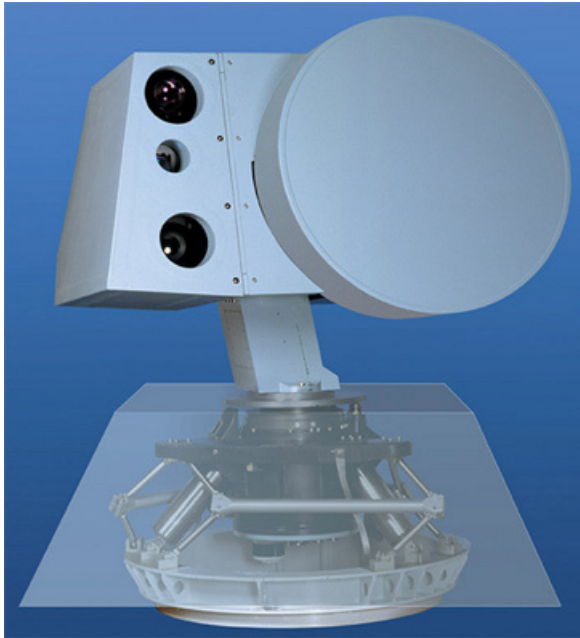
Kuva 3.1 EADS TRS-3D tutka [7].

TRS-3D tutka on EADS:n (European Aeronautic Defence and Space Company) kehittämä vaiheistetulla tasoantennilla varustettu monikäyttötutka. Se on tarkoitettu erityisesti ilma- ja pinta-tilannekuvan luomiseen, joskin sitä voidaan käyttää myös tulenjohtoon. Tutkalla saadaan maalista etäisyys-, suunta- ja korkeustieto, joiden avulla voidaan laskea kohteen kulkusuunta ja nopeus. Korkeustieto saadaan vaiheistamalla lähettimet niin, että niistä lähtee yksi terävä pulssi tiettyyn suuntaan, jonka suhteellinen kulma horisontista tiedetään.

Tutka toimii G-alueella eli 4–6 GHz alueella jolloin sen lähettämä aallonpituus on 5–7.5 cm. Tällä aallonpituudella saavutetaan riittävä kantama sekä tarkkuus, koska mitä pienempi aallonpituus sitä tarkempi mittaustulos, ja mitä suurempi aallonpituus, sitä vähemmän erilaiset häiriötekijät kuten sade ja pilvet vaikuttavat. Valmistajan antamien tietojen mukaan sillä kyetään havaitsemaan maaleja jopa yli 180 km päästä. Tutkan pyörintänopeus on 60 rpm:stä alaspäin, riippuen siitä minkälainen moodi on valittu käytettäväksi [15, 24].

Hamina-luokan aluksilla on käytössä TRS-3D/16ES malli, jossa merkintä ES tarkoittaa Electronic Stabilisation eli elektronisesti vakautettu. Systeemi mahdollistaa kevyemmän mastorakenteen verrattuna mekaanisesti vakautettuun tutkaan, jonka mastorakenteeseen on liitetty mekaaninen vakautin. Numero 16 tarkoittaa antennissa olevia lähetinvastaanotinrivejä, joita on 16 kappaletta [24].

SAAB Ceros 200



Kuva 3.2 SAAB Ceros 200 [13]

Ceros 200 on SAAB Systemin valmistama tulenjohtoseurain. Siihen kuuluu tulenjohtotutka, Infrapunakamera, TV-kamera ja laseretäisyysmittari. Tulenjohtoseurain on rakennettu häiveominaisuuksiltaan mahdollisimman hyväksi [24].

Tulenjohtotutka toimii 15.5–17.5 GHz alueella, jolloin aallonpituudeksi on noin 2.2–1.9 cm, joka mahdollistaa huomattavasti tarkemmat mittaustulokset verrattuna esimerkiksi 3D tutkaan, jonka taajuusalue on 4–6 GHz. Vastaavasti lyhyempi aallonpituus vähentää maksimaalista mittausetäisyyttä verrattuna pidempään aallonpituuteen. Tutkassa on kaksoisheijastin-monisyöttö-antenni, jonka avulla kyetään määrittämään kohteen etäisyys, korkeus ja suunta.[15, 24]

EOMS



Kuva 3.3 Sagem EOMS [25]

EOMS (Electro-Optical Multifunction System) on Sagem-yhtiön valmistama elektro-optinen multisensori, joka on kehitetty yhdistämällä kaksi aikaisempaa järjestelmää toisiinsa: VIGY 105 Electro-Optical Director ja VAMPIR MB Dual-spectrum Infrared Search-and-Track (IRST). Järjestelmä koostuu TV-kamerasta, Laseretäisyysmittarista, infrapunakamerasta, sekä kehyksestä jossa on moottori, mikä mahdollistaa IRST toiminnon. Laitteella kyetään havaitsemaan -20° – $+60^{\circ}$ alukseen nähden olevia kohteita. Laitteen infrapuna kamera toimii $3\text{--}5$ ja $8\text{--}12\text{ }\mu\text{m}$ alueella. Laseretäisyysmittari on silmäturvallinen ja toimii $1.54\text{ }\mu\text{m}$, 20 Hz alueella [24].

Laitetta voidaan käyttää, joko IRST-moodissa, jolloin saadaan 360° kattavaa pano-raamakuvaa, tai normaalimoodissa, jolloin laite toimii kuten tulenjohtoseurain käyttäen maalin paikkatiedon saamiseksi TV- tai infrapunakameraa sekä laseretäisyysmittaria. Laite kykenee ottamaan kohteita automaatti seurantaan IRST-moodissa toimiessaan sekä välittämään nämä maalit taistelunjohtojärjestelmälle. Tällöin maalin etäisyystieto on kuitenkin puutteellinen, koska etäisyystiedon saamiseksi laite joutuisi käyttämään laseretäisyysmittaria, joka ei IRST-moodissa onnistu. [24]

3.3 Aseet

Hamina-luokan aseistus kostuu meritorjuntaohjuksista, ilmatorjuntaohjuksista, laivatykistä, laivakonekivääreistä, harhamaalinheittimistä sekä miinoista ja syvyyspommeista. Näistä aseista voidaan ohjuksen torjuntaan käyttää kaikkia muita paitsi meritorjuntaohjuksia, miinoja ja syvyyspommeja. Tosin laivakonekiväärin merkitys ohjuksen torjunnassa on lähes olematon kohteen pienen koon ja suuren nopeuden vuoksi.

Meritorjuntaohjus Umkhonto



Kuva 3.4 Umkhonto [24]

Umkhonto on eteläafrikkalaisen Denelin valmistama infrapunahakupäinen ohjus. Ohjus on lyhyenkantaman ilmatorjuntaohjus, joka on pääsääntöisesti tarkoitettu osaksi aluksen omasuojajärjestelmää. Ohjus on kehitetty SHAV-3:n (Surface-to-Air High Velocity-3) pohjalta [24].

SHAV-3 kehitys aloitettiin 1980-luvun puolessa välissä. Ohjuksella pyrittiin korvaamaan Ranskalaista Crotale ohjusta ja sen alustana käytettiin Crotalen alustaa. Ohjuksen kehitystä jatkettiin, ja ohjusta ruvettiin valmistamaan vaihtoehtoisella IR-hakupäällä edellisen komento-ohjatun hakupään lisäksi. Tämä versio sai nimen SHAV-IR, joka myöhempi kehitysversio tunnetaan nimellä Umkhonto. Umkhonto esiteltiin ensikerran vuonna 1998 [24].

Umkhonto hakeutuu kohteeseen alkuvaiheessa inertiaohjauksen ja yksisuuntaisen komentolinkin avulla, komentolinkki päivittää maalin paikkaa ja liiketekijöitä ohjuksen

hakupään avautumiseen asti. Tämän jälkeen loppuvaiheen lähestyminen tapahtuu ohjuksen infrapunahakupään avulla. Vaihtoehtoisesti, jos kohde on lähellä, voidaan ohjus lukita maaliin jo ennen sen ampumista. Tällöin ohjus hakeutuu maaliin pelkäästään infrapunahakupäätä käyttäen [12, 24].

Pituus	3.32 m
Halkaisija	0.18 m
Paino	130 kg
R-aine	23 kg
Kantama	12 km
Nopeus	2.5 mach
Torjunta korkeus	10 m – 10 km

Taulukko 3.2 Umkhonton ominaisuudet [24]

Laivatykki Bofors 57 mm/L 70 MK 3



Kuva 3.5 Bofors 57 mm/L 70 MK 3 [24]

57mm laivatykki on Ruotsalaisen Boforsin valmistama. Boforsin 57mm MK 1 valmistui vuonna 1966. Tykki oli tarkoitettu pinta- ja ilmatorjuntaan ja se soveltui erityisesti verrattain pienten ja keveiden alusten päätykiksi. Tykin kehitykseen oli johtanut toisesta maailmansodasta saadut kokemukset ja tarve kehittää suurempikaliiberinen tykki perinteisen 40mm sijaan. 57 MK 1 suosioista syntyi tarve kehittää entistä parempi tykki, jolla kyettäisiin torjumaan myös meritorjuntaohjuksia, johti MK 2 kehitykseen. MK 2 tykki otettiin käyttöön ensikertaa vuonna 1985. Vuonna 1991 Bofors aloit-

ti kehitystyön MK 3 tykkiä varten. MK 3 tykin suunnittelussa otettiin erityisesti huomion uuden sukupolven taistelualukset, joiden herätteiden tulisi olla mahdollisimman pienet. Tykin piti kyetä myös käyttämään 3P (Prefragmented, Programmable, Proximity-fuzed) ammuksia. Uusi MK 3 tykki otettiin ensimmäisen kerran käyttöön Visby-luokan korvetilla 1998 [24].

MK 3 tykissä on kiinteänä lähtönopeustutka, jolla kyetään päivittämään viimeisen ammutun kranaatin lähtönopeustiedot taistelunjohtojärjestelmälle. Tällä saavutetaan entistä parempi tarkkuus, koska jokaisen lähtevään kranaattiin voidaan päivittää viimeisimmät tiedot. Tykkiin mahtuu kertalatauksella kahteen ”lippaaseen” yhteensä 120 kranaattia lippaat voivat olla täytettynä eri ammuksilla ja silti niitä kyetään vaihtamaan kesken ammunnan. Tykin tulinopeus on 220 laukausta/minuutissa ja ammuksen lähtönopeus 950–1035 m/s. Tykki kykenee kääntymään 57°/s ja nostamaan koroa 44°/s [24].

Verrattuna edellä mainittuja lukuja esimerkiksi vanhempaan MK 1 malliin on tulinopeus lähes kaksinkertaistunut ja suuntaamisnopeus kasvanut lähes kymmenellä prosentilla. Suurin ero vanhempiin malleihin verrattuna on kuitenkin aseiden kasvanut tarkkuus. Tämä on saavutettu jo edellä mainitulla lähtönopeustutkalla, uusilla 3P ohjelmoitavilla ammuksilla, entistä paremmilla elektroniikkakomponenteilla ja vakautusjärjestelmillä sekä tietokoneohjatuilla ammuntakuvioilla. Tykkiin olisi vielä mahdollista hankkia häiveominaisuuksiltaan entistä parempi kehys; tällainen kehys on käytössä esim. Visby-luokan aluksilla, jossa myös tykin piippu on koteloitu, kun sitä ei käytetä. [24].

Multi-Ammunition Softkill System (MASS)



Kuva 3.6 MASS heitinyksikkö [24]

MASS-harhamaalinheitinjärjestelmä on tarkoitettu erityisesti aluksen omasuojajärjestelmäksi meritorjuntaohjuksia vastaan. Se kostuu Hamina-luokalla kahdesta heitinyksiköstä, jotka ovat tietokoneohjattuja. Yksi heitinyksikkö pitää sisällään kahdeksan lipasta joista kussakin on neljä 81mm perävakautettua ammusta. Ammukset ovat ns. multispektrialisia eli ne toimivat laajalla taajuusalueella. Valmistaja lupaa ammusten toimivan 0,4–1 μm alueella, joka on käytännössä näkyvän valon alue, 2–14 μm alueella, joka on infrapuna-alue, 1,06 μm 10,6 ja μm alueella, joka vastaa laserin aallonpituuksia, radiotaajuuksilla 8–20 GHz sekä ultraviolettitaajuuksilla 0,3–0,4 μm [25].

Käytettäessä MASS:ia tietokone laskee optimaalisimman ammutakuvion perustuen aluksen herätteisiin, jotka on syötetty järjestelmään, ja olemassa olevaan uhkaan. Häirintäkuviota ylläpidetään ampumalla uusia ammuksia tehonsa menettäneiden tilalle. Näin saadaan ylläpidettyä häirintäkuviota riittävän kauan, jotta kohti tuleva ohjus saadaan harhautettua [18, 25].

MASS:in toimivuudesta kertonee jotain vuonna 2003 järjestetty harjoitus, jossa MASS järjestelmä asennettiin Saksalaiselle Type 352 miinanraivaajalle. Harjoituksessa Yhdysvaltalaiseen lentokoneeseen oli asennettu kuusi kappaletta erilaisia meritorjuntaohjuksen hakupäitä (neljä tutka- ja kaksi erilaista infrapunahakupäätä). Kone suoritti 11 lähestymistä alusta kohden, joissa alus käytti MASS:ia. Valmistajan ilmoittamien tietojen mukaan yksikään ohjuksen hakupää ei onnistunut pitämään lukitusta aluksessa [41]. On kuitenkin muistettava, ettei julkisista lähteistä ole saattavilla tar-

kempia tietoja ohjustenhakupäiden ominaisuuksista ja valmistaja on saattanut liioitella antamia tietojaan mahdollisessa myyntitarkoituksessa.

3.4 Taistelunjohtojärjestelmä

Taistelunjohtojärjestelmiä on usein kirjallisuudessa sanottu olevan taistelualuksen sydän. Taistelunjohtojärjestelmän tarkoituksena on yhdistää aluksen eri järjestelmät yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi, jotta alus kykenee käyttämään eri asejärjestelmiä ja sensoreita tehokkaiksi.

Taistelunjohtojärjestelmän tehtävänä Hamina-luokan aluksella on:

1. Tilannekuvan muodostaminen aluksen omilla sensoreilla sekä mahdollisesti muualta saatavasta informaatiosta.
2. Laskea alukseen ja mahdollisesti muita kohteita vastaan uhka-arvio sekä aseiden käyttösuositukset.
3. Aseiden, sensorien ja linkkijärjestelmien käyttö.
4. Tulenkäytön suunnittelu ja johtaminen sekä simulointi ja operaattoreiden kouluttaminen [17].

Hamina-luokan taistelunjohtojärjestelmänä on ANCS 2000. Sen on valmistanut suomalainen EADS Defence and Communications Systems. ANCS on komponentti pohjainen Linux-, Cobra- ja PC arkkitehtuuria noudattava tietojärjestelmä. Siinä käytävät osat ovat pääsääntöisesti alun perin kaupallisiin tarkoituksiin tuotettuja ns. COTS tuotteita. Tällä on saavutettu alhaisempi hankinta ja ylläpitokustannukset sekä riippumattomuus mistään tietystä valmistajasta. Se koostuu sovellus- ja infrastruktuuriohjelmistoista, lähiverkosta, työasemista ja yleispalvelimista sekä interface-palvelimista, joiden kautta osajärjestelmät liitetään taistelunjohtojärjestelmään [17].

4. MERITORJUNTAOHJUKSEN KEHITYS

4.1 Yleistä

Meritorjuntaohjukset voidaan jakaa eri ryhmiin sen perusteella mitä ominaisuutta tarkastellaan. Näitä ominaisuuksia ovat: kantama, lentorata, nopeus sekä hakeutuminen. Ryhmiin jakamisen tarkoituksena on helpottaa eri asioiden tarkastelua. Tässä tutkimuksessa ohjukset on jaettu kantaman perusteella. Työstä on jätetty pois erittäin lyhyenkantaman ohjukset 0–20 km (rannikko-ohjukset), jotka muistuttavat erittäin paljon panssarintorjuntaohjuksia. Näiden ohjusten kehitys noudattelee panssarintorjuntaohjusten kehitystä, joten niiden tarkastelu ei ole oleellista tämän tutkimuksen kannalta.

Tässä työssä ohjukset ovat jaettu kantaman perusteella kolmeen eri ryhmään: kevyisiin, keskiraskaisiin ja raskaisiin ohjuksiin. Kevyillä ohjuksilla tarkoitetaan niitä, joiden kantama on 20–40 km ja joita voidaan käyttää helikoptereista ja kevyistä partioveneistä. Ne eivät vaadi suurta tilaa ja ovat helposti liikuteltavissa sekä asennettavissa. Näitä ohjuksia ovat esimerkiksi Sea Skua ja Penguin [2].

Keskiraskailla meritorjuntaohjuksilla on kevyisiin ohjuksiin verrattuna huomattavasti suurempi kantama 40–200 km ja tehokkaampi taistelulataus. Ne on kuitenkin usein mahdollista asentaa vielä verrattain pieniinkin sota-aluksiin ja jopa helikoptereihin. Ne muodostavat suurimman osan käytössä olevista meritorjuntaohjuksista. Näihin kuuluvat esimerkiksi Harpoon ja RBS [2].

Raskaiden meritorjuntaohjusten kantama on +200 km. Raskaat meritorjuntaohjukset on pääsääntöisesti tarkoitettu suuria aluksia kuten lentotukialuksia ja risteilijöitä vastaan. Ne kykenevät muodostamaan huomattavan uhan jopa suuria alusosastoja vastaan. Raskaiden meritorjuntaohjusten haittapuolena on suuri koko ja paino. Ainoastaan suuret sota-alukset kykenevät kuljettamaan mukanaan useaa ohjusta. Ohjuksissa käytetään yleensä n. 200–300 kg taistelulatausta. Tällainen ohjus on esimerkiksi Venäläinen SS-N-19 ”Shipwreck” ja US TASM (Tomahawk Anti-Ship Missile), joka on Tomahawkin pohjalta suunniteltu merimaaliohjus. Ohjukset muistuttavat läheisesti risteilyohjuksia. Ne ovat melko harvinaisia ja niiden käyttäjät ovat pääsääntöisesti suurvaltoja [2, 24].

Meritorjuntaohjuksen onnistuneen hyökkäyksen kannalta tarvitsee kolmen ehdon täyttyä:

1. Kohteen sijainti on tiedettävä laukaisuhetkellä.
2. Kohteen tarvitsee omata jokin heräte, joka poikkeaa ympäristöstä.
3. Ohjuksella täytyy olla kyky läpäistä kohteen puolustus [33].

Näistä kahdella viimeisellä on suuri merkitys itse meritorjuntaohjuksen kehityksessä.

4.2 Eri meritorjuntaohjusten ominaisuuksia

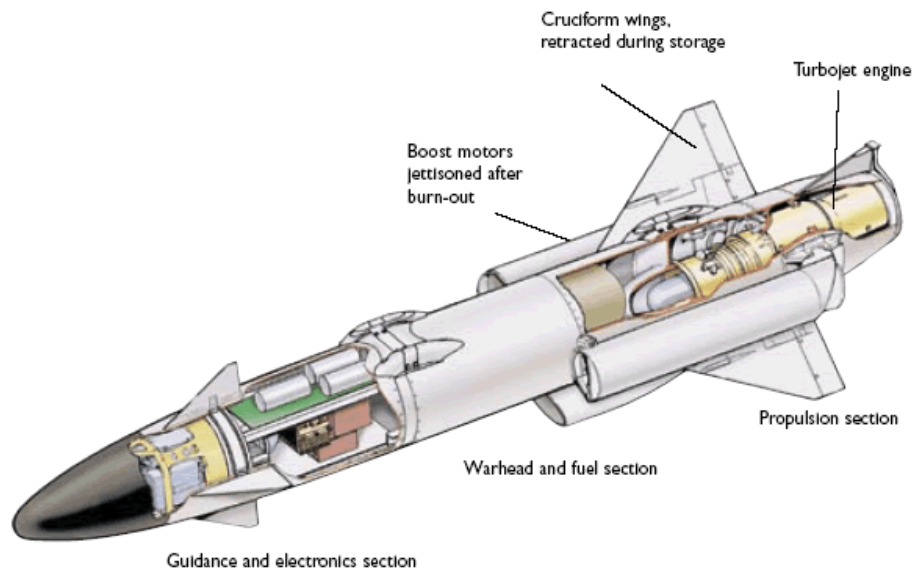
Taulukkoon 4.1 on kerätty tavallisimpien meritorjuntaohjusten pääominaisuuksia.

Ohjus	Valmis- tusvuosi	Kan- tama km	No- peus (Mac h)	***Reittilento Hakupää	Lentoprofiili	Tais- telu- lata- us kg	**Koko pituus * leve- ys * halkaisija (cm) paino (kg)
SS-N-2a "Styx"	1960	20 - 40	0.9	inertia, tutka	Matala	456	5.2*2.0*0.76 2125
Exocet MM-38	1972	4 - 42	0.9	Inertia, tut- ka(I-alue) (8 - 10 GHz)	Matala	165	5.2*1.0*0.35 735
Exocet MM-40 Block 1	1980	4 - 70	0.9	Inertia, tutka	sea-skimming	165	5.8*1.1*0.35 875
Exocet MM-40 Block 2	1980 loppu- puolella	4 - 75	0.9	Inertia, tutka (J-alue) (10 - 20 GHz)	sea-skimming	155	5.8*1.1*0.35 870
Exocet MM-40 Block 3	2006+	4 - 180	0.9	Inertia, GPS/Galileo, Tutka	sea-skimming, korkkiruuvi, reit- ti	155	6.0*1.1*0.35 750
Harpoon (RGM-84A) Block I A	1977	92	0.85	Inertia, Tutka (J-alue 10-20 GHz)	matala, pop-up	222	3.8*0.8*0.35 519
Harpoon (RGM-84C) Block I B	1982	92	0.85	Inertia, Tutka (J-alue 10-20 GHz)	sea-skimming, pop-up	222	3.8*0.8*0.35 519
Harpoon (RGM-84D) Block I C	1984	124		Inertia, Tutka (J-alue 10-20 GHz)	korkea, sea- skimming, reitti	222	4.6*0.8*0.35 682

Harpoon (RGM-84G) Block I G	+1999	240	0.85	Inertia, IR, komento, GPS	sea-skimming, reitti	?	5.2*0.8*0.35 924
Harpoon Block II	2002	124	0.85	Inertia, tutka, komento GPS	sea-skimming, reitti	222	4.6*0.8*0.35 690
RBS 15M	1985	70	0.8	inertia, tutka (J-alue12- 18GHz)	sea-skimming	200	4.35*1.4*0.5 620/780
RBS MK 2	1997	100	0.8	Inertia, tutka (J-alue) (12 - 18 GHz)	sea-skimming, mutkittelu, reitti,	200	4.35*1.4*0.5 620/780
RBS MK 3	2006	200	0.8	Inertia, GPS tutka, (Ku- alue 16-18)	sea-skimming, mutkittelu. reitti	200	4.35*1.4*0.5 620/780
SS-N-22 "Sunburn"	1984	+100	+3 2.3	tutka, (I/J – alue 8-12 GHz)	korkea/matala mutkittelu, päivitys	150	9.45*2.1*1.3 4.150
SS-N-26 "Yakhont"	+2003	120- 300	2.0 – 2.5	inertia, tutka A/P	korkea/matala	250	8.9* - *065 3.000
SS-N-19 "Shipwreck"	1982	625	2.5	inertia, ko- mento, J ja K alueen tutkat (10-12, 27-40 GHz)	korkea	750/ 500kt	10* - *0.85 6980
Penguin Mk1	1970	19	0.7	inertia, IR	Suora	125	3.0*1.4*0.3 330
Penguin Mk2 mod 3	1978	27	0.8	inertia, IR	Suora	125	3.0*1.4*0.3 340
Penguin Mk2 mod 5	1986	27	0.8	inertia, IR	Mutkittelu	125	3.0*1.4*0.3 340

Taulukko 4.1: Meritorjuntaohjusten ominaisuuksia [9,10, 11, 24]

Taulukossa mitat on pyöristetty lähimpään 5 cm. *A/P merkintä tarkoittaa aktiivinen tai passiivinen vaihtoehto valittavissa. Pop-up tarkoittaa ohjuksen terminaalivaiheessa tapahtuvaa äkillistä nousua, jonka jälkeen ohjus hakeutuu kohteeseen n. 30° kulmassa.



Kuva 4.1 Meritorjuntaohjuksen osat (RBS 15) [6].

4.3 Meritorjuntaohjuksen kehitys

Kehityksensä alkuvaiheessa meritorjuntaohjus kykeni läpäisemään tehokkaasti sen aikaiset puolustusjärjestelmät, jotka olivat tarkoitettu lähinnä lentokoneita ja toisia aluksia vastaan. Ohjus oli riittävän nopea ja erittäin vaikeasti havaittava, jotta siihen olisi kyetty reagoimaan riittävän ajoissa. Ensimmäiset ohjukset eivät kuitenkaan olleet kovinkaan luotettavia, eikä niiden tuhoamisprosentti ollut erityisen suuri [11].

Edellisessä kappaleessa olevasta taulukosta 4.1 voidaan huomata, että ohjuksen kehitykseen on usein liittynyt kantaman kasvattaminen. Kantamaa voidaan merkittävästi kasvattaa kolmella eri menetelmällä.

1. Lisäämällä ajoaineen määrää, jolloin ohjuksen koko ja paino kasvat.
2. Käyttämällä uusia ajoaineita, jolloin samasta määrästä saadaan enemmän tehoa irti.
3. Käyttämällä eri moottoritekniikkaa, jolloin usein nopeutta ja kantamaa pystytään kasvattamaan, sekä mahdollisesti pienentämään ohjuksen antamaa härtettä.

Eri meritorjuntaohjusten parannelluissa versioissa on usein keskitytty hakupään ominaisuuksiin ja hakupään häirinnän sieto-/väistökykyyn. Niihin paneudutaan tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Uusi teknologia on mahdollistanut erilaiset ohjuksen lähestymistavat maaliin. Tämä näkyy eri versioiden ominaisuuksissa, joista usein ensimmäisenä on tullut sea-skimming ominaisuus. Sea-skimming -ominaisuudella tarkoitetaan ohjuksen terminaali-lähestymisvaiheessa tapahtuvaa aivan merenpinnassa (2–7m) liitämistä, jolla vaikeutetaan ohjuksen havaitsemista ja torjuntaa [4].

Ominaisuus, joka löytyy lähes kaikista nykyaikaisista ohjuksista, on reittipisteiden asettaminen. Reittipisteitä asettamalla ohjus saadaan muuttamaan suunta kesken matkalentovaiheen. Reittipisteiden avulla ohjus saadaan lähestymään kohdetta halutulta suunnalta tai kiertämään vaarallisia kohteita. Samalla ohjuksen alkuperäisen laukaisulavetin määrittäminen vaikeutuu. Reittipiste-ominaisuus mahdollistaa myös useamman ohjuksen samanaikaisen maaliintulon. Viimeisimpiä sovellutuksia on terminaalivehien mutkittelu ja korkkiruuvimainen lähestyminen, näillä vaikeutetaan tukahjattujen aseiden osumista ohjukseen.

Uusia uhkakuvia on ilmaantunut, ja toisaalta kylmän sodan aikaisten suurten meritaisteluiden uhka, jossa kahden suurvallan laivastot ottavat mittaa toisistaan avoimella valtamerellä, on poistunut. Meritorjuntaohjuksille tämä kehitys asettaa uusia vaatimuksia. Yhä useammin konfliktit tapahtuvat rannikon tuntumassa, jossa on mahdollisesti muuta liikennettä sekä saaristo, joka vaatii ohjuksen hakupäältä riittävää kykyä kyetä erottamaan eri maalit toisistaan. Toiseksi on kyettävä vastaamaan mahdollisesti maalta tulevaan uhkaan ja auttamaan omien joukkojen taistelua myös maalla. Tämä ja entistä kehittyneempi teknologia ovat aiheuttaneet meritorjuntaohjusten viimeaikaisen kehityksen. Yhä useampia meritorjuntaohjuksia voidaan käyttää myös maamaaleja vastaan [40].

Lähitulevaisuudessa meritorjuntaohjuksissa tapahtuva kehitys saattaakin jakautua kahtia eri ohjustyyppien kesken. Toinen ohjustyyppi tulee keskittymään rannikon läheisyydessä toimivia aluksia vastaan, jolloin ohjukselta vaaditaan äärimmäistä kykyä pystyä erottamaan kohde muiden kohteiden tai muun materiaalin joukosta, mutta ei välttämättä suurta kantamaa tai suurta nopeutta. Tämä aiheuttaa paineita ennen kaikkea ohjuksen hakupään kehittämiseen. Hakupäätä voidaan kehittää esimerkiksi sensorifuusion avulla, jolloin useampi kuin yksi sensori muodostaa hakupäälle kuvaa kohteesta ja automatiikka yhdistää sensorien tarjoaman kuvan yhdeksi kuvaksi, jota hakupää vertaa ennalta asetettuun tai päivitettyyn maalikuvaan. Tämän tyyppiset ohjukset tulevat olemaan pääosin kantamalta 60–200 km eli keskiraskaita [10].

Toinen meritorjuntaohjuksen tulevaisuuden kehityssuunta tulee keskittymään kantan kasvattamiseen, häiveominaisuuksiin ja nopeuden lisäämiseen. Tällöin meritorjuntaohjuksesta saadaan yleiskäyttöisempi ohjus, jota on äärimmäisen vaikea torjua [11]. Samalla ohjukseen voidaan liittää kyky iskeä maamaaleja vastaan. Toisaltaan kyky iskeä maamaaleja vastaan tulee yleistymään lähes kaikkien valmistajien uusissa meritorjuntaohjuksissa. Molemmilla meritorjuntaohjustyypeillä pyritään kehittämään reittilennon monipuolisuutta ja rungon muotoa. Runko muuttuu tavallisesta lie-riönmallisesta epäsymmetriseen muotoiluun, ja se on pinnoitettu mahdollisimman vähän tutkasäteilyä heijastavalla aineella [36].

4.3.1 Hakupää

Ohjuksen hakupäässä sijaitsevat ohjuksen omat sensorit, joilla ohjus paikantaa ja lukkiutuu oikeaan maaliin. Jotta ohjus kykenee lukkiutumaan maaliin, täytyy maalilla olla taustasta erottuva heräte. Ohjusten tarvitsemat herätteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Herätteet ovat Infrapuna (IP), tutkakaikupinta-ala (RCS) ja optinen siluetti. Hakupää voi käyttää yhtä tai useampaa herätettä hakeutuessaan maaliin. Useat hakupäät on suunniteltu niin, että ne avautuvat vasta ohjuksen saavuttua ennalta määrätyle maalialueelle. Tämä vaikeuttaa ohjuksen havaitsemista, sekä ohjukseen vaikuttamista elektronisen tiedustelun keinoin ennen hakupään kytkeytymistä päälle.

Ohjuksen paikanmääritys matkalentovaiheen aikana toteutetaan inertiaohjauksen, satelliittipaikannuksen, maastonavigoinnin tai tutkaseurannan avulla, tai näiden eri yhdistelmin. Inertiaohjauksessa ohjuksen omat kiihtyvyyssensorit ja hyrrät tuottavat tietokoneen avulla liikevektorin ohjukselle, jonka avulla ohjus laskee oman paikkansa lähtöpisteestä. Satelliittipaikanmäärityksessä ohjus vastaanottaa etäisyystietoja avaruudessa olevilta satelliiteilta ja laskee niiden avulla oman paikkansa. Satelliittipaikannukseen perustuva paikanmääritystarkkuus on riittävän tarkka iskettäessä jopa pistemäisiä maamaaleja vastaan. Tämä on yksi syy, minkä takia satelliittipaikannus tulee yleistymään tulevaisuudessa. Maastonavigointi perustuu ennalta tiedetyn digitalisoidun maaston vertaamista ohjuksen omien sensorien tekemiin havaintoihin maastosta [14]. Tutkaseurannassa ohjus on aluksen omien tai muiden omien tutkien seurannassa. Tukat välittävät ohjukselle tiedot sen paikasta ja korkeudesta, sekä välittävät tarvittaessa muutokset ohjuksen lentorataan, jotta ohjus saadaan ohjattua kohteeseen. Tämä mahdollistaa tarvittaessa ennalta suunnitellun lentoreitin päivityksen kesken matkalentovaiheen.

Tekniikan kehitys mahdollistaa entistä monipuolisemmat ja useita eri sensoritekniikoita käyttävät hakupäät [36]. Hakupää voisi sisältää esimerkiksi eri vaihtoehtoja kuten aktiivisen ja passiivisen tutkan, infrapunaetsimen ja lasertutkan [40]. Näiden avulla maalin tunnistus sekä tarkemman osumapisteen määrittäminen tulevat helpommaksi ja ohjusta on huomattavasti vaikeampi häiritä kuin vain yhdenlaisella sensorilla hakeutuvaa ohjusta. Hakupään kehityksessä on myös nähtävissä yhä enemmän kaupallisten tuotteiden (COTS) käyttäminen, joilla kyetään säästämään rahaa. Samalla ohjuksen elinkaarikustannukset saadaan huomattavasti pienemmiksi. Vastaavasti samoja ominaisuuksia tullaan käyttämään ilmatorjuntaohjuksissa.

4.3.2 Taisteluosa

Taisteluosan tarkoituksena on saada haluttu tuhovaikutus alukseen. Suurimassa osassa meritorjuntaohjuksia teho perustuu taisteluosan räjähdysainelataukseen ja jäljellejääneeseen ajoaineeseen, joka osuessaan kohteeseen aiheuttaa räjähdysten. Yleensä pyritään vaikutukseen siten, että ohjus läpäisee ensin kohteen, jonka jälkeen se räjähtää viiveellä kohteen sisällä aiheuttaen mahdollisimman suurta tuhoa.

Lähitulevaisuudessa räjähdysaineiden tutkimusta ja kehitystä ohjaavat tekijät ovat: epäherkkyyden lisääminen, tehon kasvattaminen, ampumatarviketurvallisuus, ympäristöystävällisyys, integroidut asejärjestelmät sekä yhteistyön ja standardisoinnin lisääntyminen. Uudet räjähdysaineet ovat edellisiä räjähdysaineita huomattavasti tehokkaampia. Käyttämällä tehokkaampia räjähdysaineita saadaan painoa vähennettyä ja nopeutta tai kantamaa kasvatettua.

Räjähdysaineiden ja ruutien kehityksen ennustaminen jakautuu kahteen skenaarioon:

- Räjähdysaineiden ja ruutien kehitys jatkaa evoluutionääristä kehitystä jolloin tehon uskotaan kasvavan noin 20 % nykyisestä.
- Toinen vaihtoehto on vallankumouksellinen kehitys, joka perustuu kvanttimekaanisiin laskelmiin. Kvanttimekaniikkaan perustavan kehityksen avulla uskotaan päästävän 2–5 kertaa nykyisiä aineita suurempaan tehoon [29].

Tulevaisuudessa mikro-elektromekaaniset järjestelmät tulevat korvaamaan tavanomaiset sytyttimet. Mikro-elektromekaaniseen sytyttimeen kyetään ohjelmoimaan haluttu vaikutustapa juuri ennen lähtöä tai mahdollisesti jopa ohjuksen ollessa matkalla kohdealueelle [43]. Tämä mahdollistaa saman ohjuksen käyttämisen hyvinkin erityyppisiä maaleja vastaan sekä maalin vaihtamisen täysin erilaiseen maalin keskeen ohjuksen lennon.

Harhamaaliheitin järjestelmien kehittyminen, sekä sellaisten laivojen, joilla on vahva panssari väheneminen, on aiheuttanut tarpeen ohjuksille jotka omaavat suuren sirpalevaikutus kyvyn. Riittävän suurella sirpalevaikutuksella ei ohjuksen tarvitse enää osua maalin, vaan riittää että ohjus räjähtää riittävän lähellä maalia. Ohjuksen räjähtäessä maalin läheisyydessä ohjuksen sirpalevaikutus tuhoaa aluksen sensoreita tehden aluksen haavoittuvaiseksi uudelle ohjushyökkäykselle.

Toinen tulevaisuuden sovellus on käyttää perinteisen räjähteen sijaan EMP-pulssia aluksia vastaan. Tarkoituksena on tuhota suojaamattomat sähkölaitteet. Sovellus on kuitenkin vielä kokeiluasteella [5]. EMP-pulssia käyttävien ohjusten etuna olisi se, ettei niiden tarvitse osua suoraa maaliin.

4.3.3 Runko

Tulevaisuudessa rungon tutkapinta-alan pienentäminen tulee olemaan merkittävin rungon kehityssuunta. Häivetekniikan käyttö rungon muodossa ja ohjuksen pinnoittaminen tutkasäteilyä absorboivalla materiaalilla vaikeuttaa ohjuksen havaitsemista. Samalla peräsimen ja siipien kokoa pienennetään, jolloin saadaan entistä pienempi tutkapoikkipinta-ala [28]. Esimerkiksi tyypillisen tällä hetkellä käytössä olevan meritorjuntaohjuksen etuosan tutkapinta-ala on noin $0,03 \text{ m}^2$ [3]. Lähitulevaisuudessa tämä saadaan pienenevänsä vähintään $0,01 \text{ m}^2$. Huomion arvoista on, että mikäli ohjuksen tutkapinta-ala saadaan pienenevänsä $0,01 \text{ m}^2$, vastaa se suurikokoisen linnun tutkapinta-alaa [46].

Tutkapoikkipinta-alaa pienennettäessä geometrisin keinoin on aina otettava huomioon mitä uhkaa vastaan tutkapoikkipinta-alaa halutaan pienentää. Koska suurimassa osassa tutkia on lähetin ja vastaanotin samassa paikassa, on hyödyllisintä suunnitella kohde siten, että se muodostaa mahdollisimman vähän kohtisuoria pintoja oletettuun tutkasignaalin tulosuuntaan. Ohjusten on kyettävä pääsemään mahdollisimman lähelle kohdetta huomaamatta, joten ohjuksen muoto pyritään todennäköisesti optimoimaan tutkaherätteeltä mahdollisimman pieneksi ohjuksen kulkusuuntaan nähden [28].

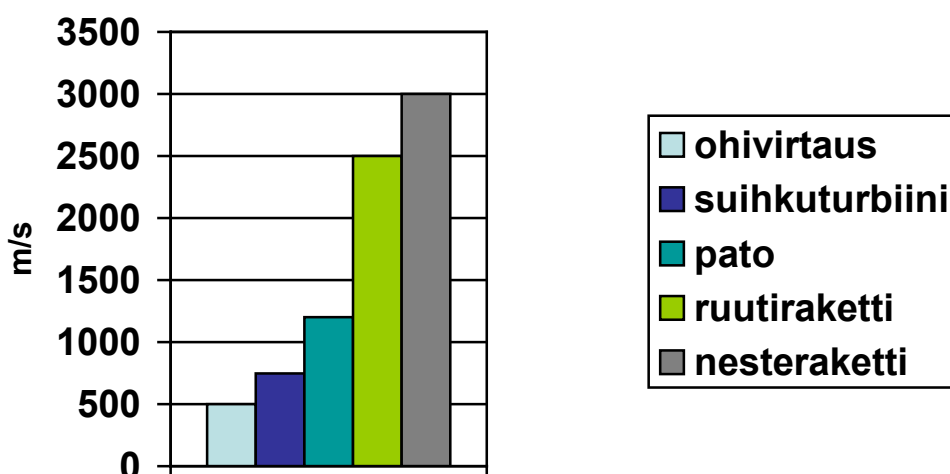
Toinen vähän kauempana tulevaisuudessa oleva kehitysnäkymä rungon osalta on älykkäiden materiaalien hyväksikäyttäminen. Materiaalit toimivat vähän samaan tapaan kuin eläinten hermojärjestelmät, jolloin komposiittiin yhdistetyt sensorit havaitsevat ympäristön muutoksen ja mikroprosessorin ohjaamina muuttavat materiaalin ominaisuutta ympäristöön paremmin sopivaksi. Oma lukunsa on kokonaan nanoteknologiaa hyväksikäyttävät materiaalit, joiden uskotaan olevan vallankumouksellisempia kuin puolijohdetekniikka on ollut viimeiset 50 vuotta [29]. Näiden tekniikoiden suurempimittakaavainen soveltaminen tulee todennäköisesti mahdolliseksi vasta vuoden 2020 jälkeen [43].

Tehokkaammat ajo- ja räjähdysaineet mahdollistavat ohjuksen pienemmän koon suhteessa tehoon ja kantamaan. Jo nyt näkyvä ja tulevaisuudessa entistä näkyvämpi osa tulee olemaan kaupallisten osien käyttö koko meritorjuntaohjusten valmistusprosessissa. Varsinkin uudet kevytmetallit ja komposiittimateriaalit tulevat olemaan uusien runkojen materiaalina tulevaisuudessa. Tämä alentaa käyttökustannuksia ja tekee ohjuksista entistä kevyempiä, millä puolestaan saadaan kasvatettua kantamaa tai pienennettyä kokoa.

4.3.4 Moottori

Ohjusten työntövoimana käytettävät moottorit voidaan jakaa kahteen ryhmään: raketti- ja ilmareaktiomoottoreihin. Rakettimoottorit jakautuvat toimintaperiaatteensa mukaan joko ruutirakettimoottoreihin tai nesterakettimoottoreihin. Ilmareaktiomoottorit voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan kolmeen toisistaan eriävään tyyppiin: suihkuturbiinimoottoreihin, ohivirtausmoottoreihin ja patomoottoreihin. Patomoottorit taas voidaan vielä jakaa neste- ja ruutikäyttöisiin. Näiden lisäksi on vielä olemassa hybridimoottori, joka yhdistää raketti- ja ilmareaktiomoottoreiden tekniikkaa. Ohjuksen nopeus määräytyy pääasiassa suihkuvirtauksen suuruuden mukaan. Alla olevassa kuvassa on esitetty eri moottorityypeillä savutettavat maksimaaliset suihkuvirtaukset. [35].

Eri moottorityypeillä savutettavia maksimi suihkuvirtaus nopeuksia



Kuva 4.3 Eri moottoreiden suihkuvirtausnopeuksia [35]

Moottorityypin valinta riippuu siitä, mille etäisyydelle ja millä nopeudella ohjusta on tarkoitus käyttää. Lyhyille alle 50 km matkalle sopivin vaihtoehto on ruutirakettimoottori, jolla saavutetaan ylitääninopeuksia. Kantaman kasvattaminen yli 50 kilometriin, vaatii ohjuksen moottoriksi ilmareaktiomoottorin. Tämä johtuu siitä, että tällä hetkellä käytössä olevilla ruutiajoaineilla lentomatkan kasvattaminen yli 50 km vaatisi moottorilta epäkäytännöllisen suuren koon. [1, 46].

Tarkasteltaessa tällä hetkellä yleisesti käytössä olevia meritorjuntaohjuksia voidaan todeta, että yleisin käytössä oleva moottorityyppi on suihkuturbiinimoottori. Tämä johtuu suihkumoottoritekniikan edullisuudesta ja yksinkertaisuudesta verrattuna patomoottoreihin. Toki ohjuksissa on yleensä myös ruutirakettimoottori lähtömoottorina. Suihkumoottorin heikoimpana puolena voidaan pitää sen alhaista nopeutta [46].

Tulevaisuudessa patomoottorit tulevat yleistymään meritorjuntaohjuksissa, tämä erityisesti patomoottorin tarjoaman suuren nopeuden vuoksi. Perinteiset suihkumoottorit voivat lähitulevaisuudessa saavuttaa ylitääninopeuden ilman jälkipolttimia. Ylitääninopeus on saavutettavissa, johtuen uusista materiaaleista, joita käytetään moottorin valmistuksessa. Kauempaa tulevaisuudessa (+2020) tulee pitkänkantaman meritorjuntaohjuksiin yleistymään SCRAMJET (Super Sonic Combustion Ram Jet) moottorit. Näissä ajoaineen palaminen tapahtuu erittäin suurella virtausnopeudella. SCRAMJET moottorilla uskotaan savutettavan jopa 8 Mach nopeuksia[46].

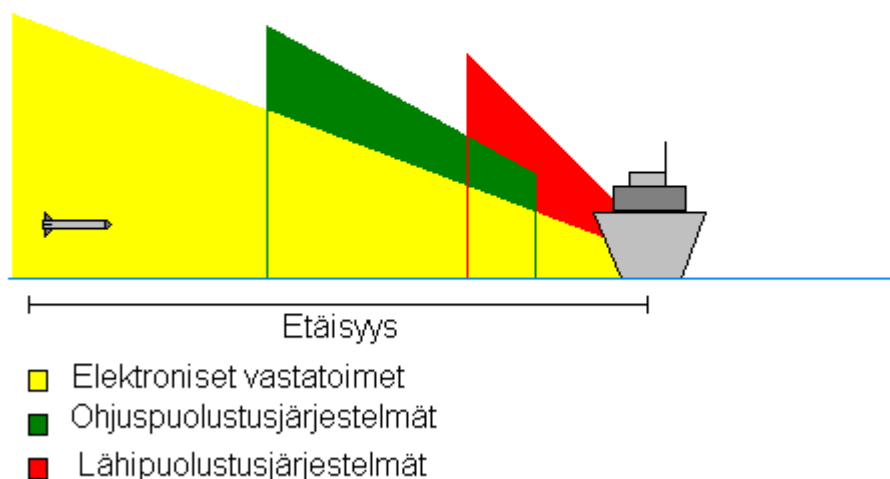
5. OHJUKSEN TORJUNTAAN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

5.1 Yleistä

Onnistuneen meritorjuntaohjushyökkäyksen edellytyksenä on, että ohjus pystyy läpäisemään kohteen puolustusjärjestelmät. Ensimmäiset meritorjuntaohjukset olivat suhteellisen nopeita verrattuna torjuntajärjestelmien nopeuteen ja lähestyivät kohdetta usein matalalta. Kummatkin ominaisuudet olivat äärimmäisen vaikeita torjua, koska kohdetta ei kyetty havaitsemaan riittävän aikaisin eikä aseita kyetty suuntaamaan riittävän nopeasti. Toisaalta aikaisemmin ohjukset eivät olleet yhtä tarkkoja, varmatoimisia eivätkä yhtä monipuolisia kuin nykyään. MTO:n ominaisuudet ja toisaalta taas torjuntateknologian kehitys ovat tehneet ohjuksen torjunnasta monipuoliseman.

Nykyaikaisella taistelualuksella meritorjuntaohjuksen torjunta voidaan ajatella jakautuvan vyöhykkeisiin. Vyöhykkeitä voidaan ajatella olevan kolme, joista kauimmaisena ovat elektroniset vastatoimet, seuraavana ohjuksentorjuntaohjus-järjestelmät ja lähimpänä lähipuolustusjärjestelmät. Vyöhykejärjestelmä on nimenomaan suunniteltu meritorjuntaohjuksesta ja rynnäkkökoneista aiheutuvaa uhkaa vastaan [33]. Ohjusveneillä tämä vyöhykepuolustus jakautuu käytännössä vain kahteen vyöhykkeeseen: elektronisiin vastatoimiin ja lähipuolustusjärjestelmiin. Tämä johtuu kauaskantoisen ilmatorjuntajärjestelmän puutteesta.

Vyöhykepuolustusjärjestelmä

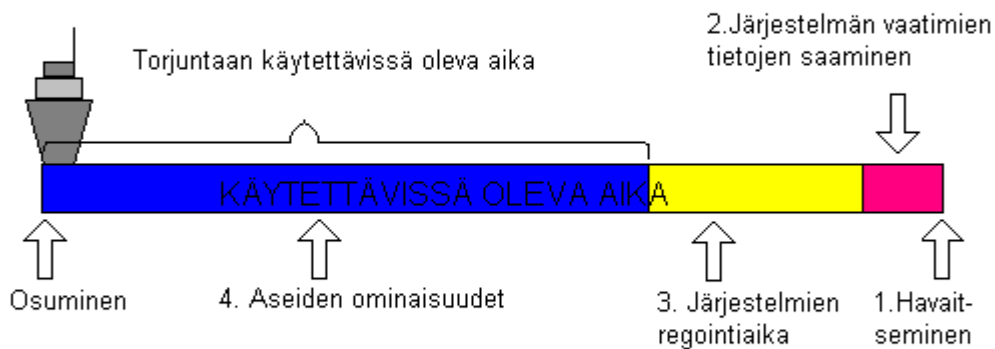


Kuva 5.1: Vyöhykepuolustusjärjestelmä [42].

Tehokkaaseen torjuntaan vaikuttavat seuraavat tekijät:

1. Havaitseminen: ohjuksen havaitseminen mahdollistaa vastatoimien aloituksen ja siitä riippuu käytettävissä oleva aika.
2. Järjestelmän käyttöä varten tarvittavien tietojen saatavuus.
3. Järjestelmän reagointiaika (pitää sisällään päätöksentekoon tarvittava aika, asejärjestelmien käyttöönottoajat, laukaisunvalmistelut, suuntaukset jne.).
4. Aseiden ominaisuudet [42].

Tehokkaaseen torjuntaan vaikuttavat tekijät



Kuva 5.2: Tehokkaaseen torjuntaan vaikuttavat tekijät

Meritorjuntaohjuksen torjuntamahdollisuudet voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: ennaltaehkäisevään, ohjus- ja ammusilmatorjuntaan sekä ohjuksen harhauttamiseen tarkoitettuihin järjestelmiin. Ennaltaehkäisevien torjuntakeinojen tavoitteena on pyrkiä vaikeuttamaan aluksen / maalin havaitsemista pienentämällä maalin herätteitä. Ohjus- ja ammusilmatorjunnan tarkoituksena on tuhota tai vahingoittaa maalia, niin ettei se aiheuta vahinkoa. Ohjuksen harhauttaminen voidaan suorittaa joko harhamaalin heitinjärjestelmien avulla tai elektronisilla vastatoimilla.

Tässä työssä tarkastellaan tarkemmin vain ohjus- ja ammusilmatorjuntaa sekä ohjuksen harhauttamista

Kaukotorjunta suoritetaan pääsääntöisesti ilmatorjuntaohjuksilla sekä elektronisilla vastatoimilla. Jos ohjus onnistuu ohittamaan sitä kohti ammutut ohjukset, lähitorjunta suoritetaan pääsääntöisesti lyhyenkantaman ilmatorjuntaohjuksilla ja ammusilmatorjunnalla, aseilla joilla on suuri tulinopeus ja automaattinen tutkaohjattu hakeutuminen kohteeseen. Lisäksi käytetään harhamaalin heittämiä.

Harhamaalienheittimien merkitys tulee korostumaan tulevaissudessa entisestään, koska ne ovat niin sanottuja Soft-Kill järjestelmiä. Tämä tarkoittaa sitä, että ne eivät varsinaisesti aiheuta vahinkoa kohteelle, vaan pyrkivät estämään sen tarkoituksen mukaisen toiminnan. Koska ne eivät aiheuta vahinkoa kohteelle on niiden käytön kynnys epävarmassa tilanteessa, jossa maali tunnistuksesta ei voida olla varmoja, huomattavasti alhaisempi verrattuna maalin tuhoamiseen tarkoitettuihin asejärjestelmiin. Toisaltaan näiden järjestelmien ongelmana on, että ne voivat haitata omien muiden puolustusjärjestelmien toimivuutta.

5.2 Aika

Aika on päätetty ottaa tässä työssä erityiseen tarkasteluun sen merkityksen korostamiseksi. Teoriassa, mikäli torjuva yksikö on toimintakykyinen ja sillä riittävästi ohjuksen tuhoamiseen käytettäviä resursseja, on vain kyse ajasta, koska ohjus saadaan tuhottua.

Käytettävissä olevaan aikaan vaikuttavat seuraavat tekijät meritorjuntaohjuksen torjunnassa:

1. Havaitseminen
2. Meritorjuntaohjuksen nopeus
3. Sensoreiden reagointiaika
4. Ihmisen toimenpiteet
5. Asejärjestelmien ominaisuudet

Havaitseminen on ensimmäinen asia, joka täytyy tapahtua, jotta ohjus kyetään torjumaan. Se luo pohjan kaikelle toiminnalle, joka tapahtuu havaitsemisen jälkeen. Aluksella meritorjuntaohjuksen havaitseminen tapahtuu käytännössä yhdellä aluksen sensoreista. Sensorin täytyy saada normaalin herätetason ylittävä heräte. Tämä voi olla esimerkiksi palaava tutka-kaiku, joka riittää ylittämään keskimääräisen taustakohinan tai infrapunakameran havaitsema ympäristöä lämpimämpi kohde.

Kohteen havaitsemisen jälkeen käytettävissä oleva ajan voidaan ajatella olevan se aika, minkä kohteella kestää saavuttaa alus. Matemaattisesti ilmaistuna havaintoetäisyys jaettuna kohteen nopeudella, eli ohjuksen nopeus on suoraan verrannollinen käytettävissä olevaan aikaan.

Kohteen ensimmäisestä havaitsemisesta kuluu tietty aika ennen kuin torjunta voidaan aloittaa kohteeseen. Tämä aika pitää sisällään käytännössä sensoreilta saatavan tiedon prosessointia. Otetaan esimerkiksi aluksen valvontatutka. Tutka on saanut ensimmäisen havainnon kohteesta eli riittävän voimakas tutkakaiku on tullut vastaanottoimeen. Tämä näkyisi tutkan raakavideolla ”täppänä”. ”Täpän” muuttaminen maaliksi vaatii useamman varmistuksen maalin sijainnista, jotta sille voidaan laskea liiketekijät ja varmistaa, että se on todellinen maali eikä harhakaiku. Kyseinen toimenpide kestää tutkasta riippuen muutamia sekunteja [3].

Käytetään esimerkkinä tutkaa, jonka pyörintänopeus on 60 rpm sekä järjestelmää, joka vaatii viisi paikkatietoa oletetusta maalista luodakseen maalin jonka liiketekijät tunnetaan. Tällöin yhden paikkatiedon saamiseen kuluu aikaa 1s. Tästä saadaan, että maali on luotu järjestelmälle 4 sekunnin kuluttua ensimmäisestä havainnosta.

Vastaavasti, mikäli havainto saadaan esimerkiksi EOMS:illa IRST moodia käyttäen, tarvitaan vielä kohteen etäisyystieto, joka saadaan esimerkiksi käyttämällä laseretäisyysmittaria. Se kuinka kauan tähän kuluu aikaa, riippuu järjestelmän suorituskyvystä, operaattorilta vaadittavista toimenpiteistä ja mahdollisista automaattisesti tapahtuvista toiminnoista.

Nykytekniikalla on mahdollista tehdä ihmisestä riippumattomia täysin automaattisia torjuntajärjestelmiä, jolloin järjestelmä laatii torjuntasuosituksen maaliin ja aloittaa torjunnan tiettyjen ennalta asetettujen ehtojen täytyessä. Esimerkiksi ANCS:issa on mahdollisuus tiettyjen ehtojen täytyessä automaattiseen torjuntaan [17]. Mikäli alusta vastaan kohdistuva uhka koettaisiin riittävän suureksi sekä automaattinen torjunta riittävän luotettavaksi, kyettäisiin poistamaan ihmisen toimenpiteiden käyttämä aika torjuntaan käytettävissä olevasta kokonaisajasta.

Yleisesti alueella toimivat omat joukot tai mahdolliset siviilit aiheuttavat sen, ettei täysin automaattista torjuntaa uskalleta tai voida käyttää. Tämä johtuu käytännössä siitä, että järjestelmän suorituskyky ei ole vielä riittävän luotettava. Oletetaan, että koulutettu operaattori kykenee tekemään oikeamman ratkaisun järjestelmän tuella, mikäli uhkaava tilanne syntyy.

Operaattori joutuu kuitenkin käyttämään tähän aikaa joka on poissa asevaikutukseen käytettävissä olevasta ajasta. Operaattorin käyttämä aika pitää sisällään käytännössä nappien painamisia ja valintojen toteuttamisia. Tähän kuluva aika riippuu siitä, kuinka monimutkaisia toimenpiteitä operaattori joutuu toteuttamaan sekä kuinka hankalia mahdolliset toimenpiteet ovat. Kirjoittajan kokemuksen mukaan ajat vaihtelevat muutamasta sekunnista kymmeniin sekunteihin.

Kaikkien edellä mainittujen jälkeen varsinainen torjunta voidaan toteuttaa. Se kuinka nopeasti torjunta on saatu toteutettua riippuu asejärjestelmien ominaisuuksista, jotka liittyvät torjunnan toteuttamiseen. Tähän osa-alueeseen kuuluu esimerkiksi tykkien suuntaaminen, ilmatorjuntaohjusten laukaisu sekä ammusten ja ohjusten nopeudet. Osa näistä toiminnoista on voinut jo tapahtua aiemmissa vaiheissa, jolloin parhaassa tilanteessa ainut kuluva aika on tykin, ohjuksen tai harhamaalinheittimen laukaisu sekä aika, joka kuluu halutun vaikutuksen aikaansaamiseksi.

5.3 Käytettävissä olevat järjestelmät

5.3.1 Ammusilmatorjunta

Tykistöaseistus tulee edelleen säilyttämään asemansa osana ilmapuolustusta ja ohjusilmatorjuntaa. Tämä johtuu ennen kaikkea järjestelmien monipuolisuudesta ja nopeasta reagointiajasta. Tykistöaseistus on myös ohjusasetta huomattavasti halvempi

vaihtoehto. Tykistöasejärjestelmät soveltuvat moniin eri tilanteisiin, kuten tulitukeen, ilma- ja ohjustorjuntaan sekä pinta-aluksien torjuntaan. Tämän vuoksi tykistöasetta tullaan edelleen kehittämään myös tulevaisuudessa. Hamina-luokalla käytössä oleva 57 mm/L 70 Mk 3 edustaa erittäin kehittynyttä yleiskäyttötykkiä, jolla kyetään suorittamaan niin ilma-, ohjus- kuin pintatorjuntaakin.

Ammusilmatorjuntaa voidaan suorittaa lyhyille sekä keskipitkille matkoille. Lyhyenmatkan ammusilmatorjunta suoritetaan pääsääntöisesti pienikaliiberisilla aseilla, joilla on suuri tulinopeus. Ominaisuus mahdollistaa tiheiden ammuspilvien ampumisen. Näiden aseiden muodostamia järjestelmiä kutsutaan yleensä lähipuolustusjärjestelmiksi. Kyseisien järjestelmien kantama rajoittuu pääsääntöisesti noin 2000 metriin. Suomalaisilla ohjusveneillä ei ole tämäntyyppistä asejärjestelmää. Keskipitkille matkoille käytetään suurempikaliiberisia aseita, joissa käytetään aikasytytteisiä tai herätteestä laukeavia sirpalekranaatteja. Ongelmana on kuitenkin saavuttaa riittävän tehokas osumatodennäköisyys. Tätä ongelmaa on pyritty ratkaisemaan erilaisilla valmiiksi eri tilanteisiin suunnitelluilla ammuskuvioilla sekä ohjelmoitavilla ammuksilla [38].

Tulevaisuudessa MTO:n nopeuksien kasvaessa tämänhetkinen lähipuolustusjärjestelmä menettää osittain merkityksensä useamman ohjuksen yhtäaikaisessa hyökkäyksessä, jossa useampi ohjus pääsee tunkeutumaan elektronisen ja ohjuspuolustuksen läpi. Tämä johtuu lähipuolustusjärjestelmän tehokkaasta torjuntaetäisyydestä. Uusien erittäin nopeiden meritorjuntaohjusten torjunta lähipuolustusjärjestelmällä on erittäin epätodennäköistä ennen kuin ohjus tulee 200 metrin etäisyydelle aluksesta. Alle 200 metrin sisällä torjutun ohjuksen sirpaleet puolestaan saattavat aiheuttavat vahinkoa aluksen tulenjohtojärjestelmille, mikä puolestaan saattaa vaikeuttaa seuraavan ohjuksen torjuntaa [22]. Tulevaisuudessa suurtehomikroaaloaseet ovat yksi vaihtoehto, jota on ajateltu korvaaman tällä hetkellä käytössä olevat lähipuolustusjärjestelmät. Tämän hetken arvion mukaan suurtehomikroaaloase voisi olla laajemmassa käytössä 5–10 vuoden kuluttua [31].

5.3.2 Ohjusilmatorjunta

Ilmatorjuntaohjukset voidaan jakaa kantaman perusteella neljään osaan:

1. Erittäin lyhyenkantaman ohjuksiin (0–5 km)
2. Lyhyenkantaman ohjuksiin (5–10 km)
3. Keskikantaman ohjuksiin (10–40 km)
4. Pitkänkantaman ohjuksiin (+40 km)

Erittäin lyhyenkantaman it-ohjukset ovat usein kannettavia / olalta laukaistavia malleja eikä niitä juurikaan käytetä taistelualuksissa muina kuin varajärjestelminä.

Tyypillisiä lyhyenkantaman ohjuksia aluksilla ovat mm: BARAK, RIM-116A RAM, 9M330 KINZAL/SA-N-9 ja GROTALE NG/VT, joiden kantama vaihtelee viidestä kilometristä kymmeneen kilometriin. Tähän luokaan kuulu myös Hamina-luokalla käytössä oleva Umkhonto. Lyhyenkantaman ohjukset toimivat osana lähipuolustusjärjestelmää ja niiden tarkoituksena on pääsääntöisesti olla osana omasuojajärjestelmää [22, 24]. Lyhyenkantaman ohjukset käyttävät usein infrapunahakupäätä tai komento-ohjausta tai niiden yhdistelmiä.

Keskikantaman ohjuksissa käytetään myös edellisessä kappaleessa mainittujen lisäksi tutkaa, jonka avulla ohjukset hakeutuvat kohteeseen. Tyypillisiä keskikantaman ohjuksia ovat esimerkiksi: ASTER-15, SEA SPAROW, SA-N-7 GADFLY. Keskikantaman ohjukset muodostavat olennaisen osan alusten merimaaliohjustorjunnasta. Niiden kantama vastaa keskimäärin meritorjuntaohjuksen maksimaalista havaintoetäisyyttä alusten omilla tutkajärjestelmillä. Keskikantaman ohjusten hakupäät mahdollistavat myös verrattain pienien ja nopeasti liikkuvien kohteiden torjunnan [22, 24].

Pitkänkantaman ohjukset ovat pääasiassa tarkoitettu lentokoneita ja risteilyohjuksia sekä isoja ja korkealla lentäviä meritorjuntaohjuksia vastaan. Niiden käyttö meritorjuntaohjusta, joka kulkee pinnan tuntumassa, vastaan on ongelmallista, koska ne on alun perin tarkoitettu korkealla kulkevia ja kohtalaisen kookkaita maaleja vastaan. Pitkänkantaman ohjukset käyttävät usein kohteeseen hakeutuessaan omaa tutkaa ja komento-ohjausta. Tämän kaltaisia ohjuksia ovat esimerkiksi: SA-N-3 GOBLET, SA-N-6 GRUMBLE, SM 1–3 (Standard Missile) [22, 39].

Meritorjuntaohjuksen torjuntaan sopivilta ohjukselta vaaditaan erityispiirteinä mm. erittäin hyvää liikehtimiskykyä, suurta nopeutta ja sytyttimen oikea-aikaista toimintaa sekä joka sään toimintakykyä. Edellä olevia ominaisuuksia pyritään parantamaan rakettimoottoritekniikalla, sysäysmoottorien käytöllä, ohjusten koon pienentämisellä, paremmalla laskintekniikalla sekä käyttämällä uusia sytyttimiä ja räjähdettäineitä [36]. Tämän hetken ohjuksentorjuntaohjuksilta ei vaadita vielä tehokkaita häirinnän väistöominaisuuksia. Tämä johtuu siitä, ettei tällä hetkellä vielä ole käytössä meritorjuntaohjuksia, jotka häiritsisivät lennon aikana puolustajan järjestelmiä [29].

Vaikka yleinen trendi nykyään on sijoittaa ilmatorjuntaohjukset pystysuoraan, jolloin katvealueita ei käytännössä ole, vaaditaan tulevaisuudessa ohjuksentorjuntaohjuksilta mahdollisimman nopeaa reagointiaikaa. Tällöin järkevin vaihtoehto on sijoittaa ohjukset pyörivälle lavetille niin, että ohjus osoittaa välittömästi laukaisusta oikeaan suuntaan. Näin saavutetaan hieman pystysuoraa laukaisua nopeampi reagointiaika. Tämä on erittäin tärkeää lyhyenkantaman ohjuksilla ja tilanteissa, jolloin maali on jo päässyt aluksen lähelle [24].

5.3.3 Harhamaalinheittimet ja elektroninen häirintä

Harhamaalinheittimien ja meritorjuntaohjukseen kohdistuvien elektronisten vastatoimien tarkoituksena on harhauttaa lähestyvä meritorjuntaohjus ennen kuin se osuu kohteeseen.

Harhamaalinheittimen tarkoituksena on ampu peittävä ”este” aluksen ja ohjuksen väliin niin, etteivät ohjuksessa olevat hakusensorit kykene enää paikantamaan oikeaa maalia. Heittimissä käytettävät ammukset riippuvat halutusta vaikutuksesta ohjukseen. Heittimissä voidaan käyttää tutkasilppua, lämpösoihtuja ja suojasavua sekä niiden yhdistelmiä. Lähes kaikki uudenaikaiset harhamaalinheittimet on varustettu tutkasilppua ja suojasavua sisältävillä ammuksilla. Esimerkiksi Hamina-luokalla käytössä oleva MASS (Multi Ammunition Softkill System) järjestelmä, jonka ammukset antavat suojaa tutka-, laser-, infrapuna-, ultraviolett- ja optiselta säteilyltä. Tällä vältetään eri ammusten valitsemiselta ja luodaan parhaat edellytykset torjua uudenaikaisia meritorjuntaohjuksia, joissa on mahdollisesti useita eri sensortekniikoita käyttävä hakupää [41].

Mitä monimutkaisemmaksi meritorjuntaohjusten hakupäät muuttuvat, sitä monipuolisemmiksi on myös harhamaaliheitinten muututtava. Tulevaisuudessa yhä useamissa harhamaalin heitinjärjestelmässä tietokone laskee optimaalisimman kuvion, joka yleensä muistuttaa alusta ja pitää sitä yllä ampumalla uusia ammuksia tehonsa menettäneiden tilalle. Perinteisen alumiinilla päällystetyn lasikuitusilpun tilalle on tulossa kennomaisia pienhiukkasia, jotka vaikeuttavat ohjuksen hakeutumista tutkan avulla oikeaan maaliin [41].

Elektronisella häirinnällä tarkoitetaan tässä työssä meritorjuntaohjusta vastaan tehtäviä toimia, jotka käyttävät sähkömagneettista säteilyä. Häirinnällä pyritään estämään ohjuksen normaali toiminta tai harhauttamaan ohjus, ja siten estämään sen osuminen maaliin. Häirintä voidaan kohdistaa ohjuksen hakupään sensoriin, paikannusjärjestelmään, viestijärjestelmään tai sytyttimeen. Sytyttimen häirintä tulee kyseeseen vain jos ohjuksessa käytetään herätesytyttimiä. Häirintä toteutetaan joko lähettämällä väärää tietoa tai kuormittamalla taajuusaluetta niin, ettei sensorin vastaanotin saa lähettimen lähettämää tietoa vastaanotetuksi [31]. Hamina-luokan aluksella ei tällä hetkellä ole kykyä suorittaa elektronista häirintää meritorjuntaohjusta vastaan.

5.4 Tulevaisuuden järjestelmät

Lyhyenkantaman järjestelmät tulevat todennäköisesti käyttämään entistä enemmän komento-ohjausta oman hakeutumisensa lisäksi. Tällä hankaloitetaan mahdollisesti vastustajan vastatoimien onnistumista [30]. Tulevaisuudessa lyhyenkantaman ilma-
torjuntaohjuksien kantamaa ja nopeutta kyetään lisäämään käyttämällä entistä parempia ajoaineita sekä pienentämällä ohjuksen hakupään ja taistelulatauksen kokoa [11]. Tämä mahdollistaa entistä lyhyemmät reagointiajat ja paremmat osumismahdollisuudet nopeisiin ohjuksiin.

Ammusilmatorjunta tulee säilymään edelleen osana alusten omasuojajärjestelmää. Tämä johtuu erityisesti ammusaseiden monipuolisista käyttömahdollisuuksista [33]. Ammusaseiden osumatodennäköisyys tulee kuitenkin laskemaan huomattavasti tämän hetkisistä, mikäli meritorjuntaohjuksen nopeus kasvaa ja samalla tutkapoikkipinta-ala pienenee huomattavasti. Tämä johtuu entistä lyhyemmästä reagointiajasta, sekä vaikeuksista pitää nopea pienen tutkapinta-alan omaava ohjus seurannassa ja näin ollen toteuttaa siihen onnistunut torjunta.

Suunnatun energian aseet ovat varmasti mielenkiintoisin tulevaisuuden ohjuksen torjunnan kehitysmahdollisuuksista. Mielenkiintoisiksi aseet tekee niiden hyvät puolet verrattuna perinteisiin ohjus- ja ammusjärjestelmiin. Hyviä puolia ovat muun muassa:

- erityisen suuri nopeus (valonnopeus)
- suora lentorata, joka mahdollistaa nolla ennakon
- ammusten määrä on periaatteessa rajaton
- mahdollisuus vaikuttaa useisiin eri maaleihin lyhyessä ajassa
- kyky vaikuttaa nopeasti liikehtiviin maaleihin, kuten ohjuksiin
- asevaikutuksen kustannukset

Tulevaisuudessa aluksilla voidaan käyttää ainakin suurtehomikroaaltoaseita ja suurteholasereita, jotka pohjautuvat suunnattuun energiaan. Suurtehomikroaaltoaseen vaikutus perustuu suurenergiseen ja suurtaajuiseen sähkömagneettiseen pulssiin, joka aiheuttaa puolijohteiden lämpenemisen ja sitä kautta puolijohdekomponenttien tuhoutumisen tai toimintahäiriön. Suurteholaserien teho perustuu suuritehoiseen valopulssiin, jolla yritetään sokaista, harhauttaa, vaurioittaa tai tuhota kohde. Teknologia ei kuitenkaan vielä mahdollista täysin toimivia ratkaisuja alusolosuhteisiin [27].

6. OHJUKSEN TORJUNNAN MATEMAATTINEN TARKASTELU

6.1 Järjestelyiden kuvaus

Matemaattinen tarkastelu on toteutettu EXCEL taulukkolaskentaohjelman avulla (katso liitteet 1 ja 2). Ohjelmassa olevassa kuvitteellisessa ohjusveneessä on kaksi meritorjuntaohjuksen havaitsemiseen kykenevää järjestelmää, elektro-optinen multisensori (EOMS) ja tutka. Käyttäjä kykenee optisen multisensorin osalta määrittämään seuraavat tiedot: sensorin korkeuden merenpinnasta, sensorin katvealueen ja korjauskertoimen.

Optisessa havaitsemisessa on pyritty mallintamaan optisen multisensorin kykyä havainnoida maali. Siinä on otettu huomioon havainnoivan sensorin korkeus sekä kohteen korkeus. Näiden avulla on laskettu teoreettinen maksimi havaitsemisetäisyys.

$$d = 3,57\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}$$

Tätä etäisyyttä vähennetään tietyllä kertoimella, joka kuvaa todellista sensorin suorituskkyä. Yleisesti tämän kaltaiset sensorit kykenevät havaitsemaan ohjusmaalin maksimissaan 10–20 km päästä, joten korjauskertoimen tulisi olla jotain 50–85 % väliltä. [23, 25, 30].

Tutkan suorituskkyä arvioidaan tutkayhtälöllä, joita on useita erilaisia. Tässä työssä käytetään tutkayhtälönä:

$$r_{\max}^4 = \frac{P_t G \sigma A_e}{16\pi L P_{\min}} \quad [3]$$

On huomioitava ettei tällä kaavalla kyetä laskemaan hyppivätaajuisten tutkien maksimikantamaa, koska taajuuden vaihtelut vaikuttavat tutkan lähettämään aallonpituuteen, mikä taas vaikuttaa G:n arvoon ja näin ollen koko yhtälöön. Tutkayhtälön ymmärtämistä helpottamaan kaavassa olevat termit on avattu. Samalla on ilmoitettu matemaattisessa mallissa käytetyt lukuarvot. Arvot on valittu siten, että ne voisivat vastata aluksella käytettävää keskimatkan valvontatutkaa, joka toimii 4–6 MHz alueella normaali olosuhteissa [3, 8, 46].

r_{\max} = Tutkan maksimikantama.

P_t = Tutkan antenniin tulevan lähetystehon huippuarvo. Arvo vaihtelee tutkasta riippuen muutamista wateista jopa megawatteihin. Esimerkiksi lyhyenkantaman tutkassa kyseinen arvo voisi olla 100 W ja keskimatka tutkassa vastaavasti 100 kW.

G = Antenninvahvistus, joka johtuu siitä, että antenni suuntaa lähetystehon tiettyyn suuntaan eikä säteile sitä isotrooppisesti. G:n arvo saadaan lasketuksi seuraavalla kaavalla:

$$G = \frac{4\pi A \eta}{\lambda^2}$$

Kaavassa A kuvaa antennin fyysistä kokoa, η antennin tehokuutta ja λ käytettävää aallonpituutta. Laskennassa η arvona käytetään 0,83, joka on melko korkea arvo. G:n arvo voidaan ilmoittaa joko dBi:nä tai numeraalisena. Käytännöllisissä tutka-antenneissa G:n arvo vaihtelee muutamista kymmenistä jopa useisiin kymmeniin tuhansiin riippuen lähinnä antennin koosta.

σ = Pinta-ala, jota kutsutaan maalin tutkapoikkipinta-alaksi (RCS). Kohti tulevasa ohjuksessa kyseinen pinta-ala voi olla esimerkiksi n. 0,03m².

A_e = Antennin sieppauspinnan pinta-ala, jolla se ottaa vastaan maalista palaavaa säteilyä. A_e arvo saadaan lasketuksi kaavalla:

$$A_e = A \times \eta$$

L = Tutkassa tapahtuvan tehon väheneminen, joka johtuu ilmakehän ja johtimien aiheuttamasta tehon vähenemisestä. Mitä suurempi arvo on sitä suurempi tehon häviö. Laskennassa on käytetty arvoa 100.

P_{\min} = Pienin maalin ilmaisuun riittävä teho, johon vaikuttaa ympäristön taustakohina. Yleensä luokkaa 10^{-13} W [3].

Tutkan osalta käyttäjä kykenee vaikuttamaan seuraaviin asioihin: sensorin korkeuden merenpinnasta, maksimaaliseen lähetystehoon, aallonpituuteen, antennin kokoon ja pienimpään havaittavaan tehoon. Sensorin korkeus vaikuttaa tutkahorisonttiin, joka puolestaan vaikuttaa maksimaaliseen havaintoetäisyyteen tutkalla.

$$d = 3,57 \sqrt{\frac{4}{3} h_1} + \sqrt{\frac{4}{3} h_2}$$

Havaittaessa ohjus kummalla tahansa järjestelmällä, luodaan taistelunjohtojärjestelmään maali, jota vastaan torjunta toteutetaan. Se kuinka nopeasti maali kyetään luomaan järjestelmään, riippuu siitä, millä sensorilla maali on ensimmäiseksi havaittu sekä järjestelmän suorituskyvystä ja asetuksista. Laskennassa on käytetty tutkalla arvoa (4 s) ja EOMS:illa arvoa (2 s). Arvot ovat kirjoittajan omiin kokemuksiin perustuvia arvioita siitä, kuinka kauan kestää ennen kuin sensorilta saatu tieto on siirtynyt taistelunjohtojärjestelmään siten, että torjunta voitaisiin aloittaa. Tämän jälkeen ennen kuin torjunta alkaa, järjestelmää käyttävä operaattori joutuu tekemään vaadittavat tietyn ajan vievät toimenpiteet. Käytännössä toimenpiteet pitävät sisällään tiettyjen nappien painamisia sekä vaadittavien valintojen suorittamista. Matemaattisen mallin käyttäjä kykenee vaikuttamaan operaattorin käyttämää aikaan.

Mallia on yksinkertaistettu siten, että havaitsemisen jälkeen (maali luotu järjestelmälle) ei ole väliä kumpi järjestelmästä teki havainnon, vaan torjunta etenee samanlaisena riippuen ajasta, jota torjuntaan on käytettävissä. Todellisuudessa tämä ei välttämättä pidä paikkaansa, sillä eri järjestelmillä saattaa kulua eri määrä aikaa tarvittavien toimenpiteiden toteuttamiseen.

Aseistuksena matemaattisen mallin taulukkolaskennassa käytettävässä ohjusve-neessä on kahdeksan kappaletta infrapunahakuisia ilmatorjuntaohjuksia, yleistykki sekä harhamaalinheitin. Ilmatorjuntaohjusten osalta käyttäjä pystyy määrittämään seuraavia ominaisuuksia: ohjuksen nopeuden, osumatodennäköisyyden, maksimi-kantaman, ohjuksen kuluttaman ajan laukaisussa sekä perättäisten laukaisujen väli-sen ajan. Ohjusten osalta oletetaan, että ohjuksia ammutaan aina kaksi kerallaan mi-käli mahdollista. Ohjuksien minimi torjuntaetäisyys on laskettu siten, että torjuntaetäi-syyden tulee olla vähintään 600 m. Ilmatorjuntaohjusten osalta ei ole otettu huomioon maalin nopeuden vaikutusta osumatodennäköisyyteen.

Tykin osalta ohjelman käyttäjä kykenee määrittämään yksittäisen sarjan osumato-dennäköisyyden sekä tykin katveen rajat. Ohjelma on suunniteltu siten, että tykillä kyetään aina ampumaan kaksi sarjaa lähestyvää ohjusta kohti, mikäli ilmatorjuntaoh-juksilla ei ole jo torjuttu maalia.

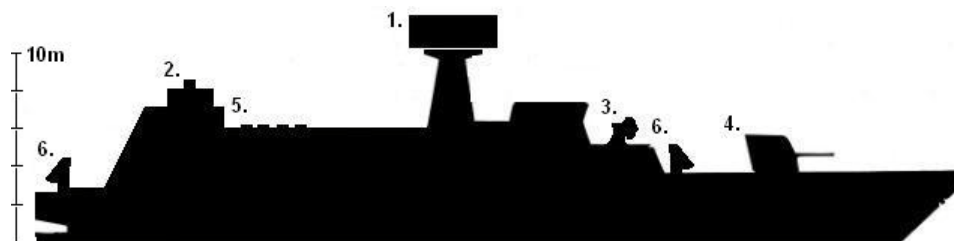
Harhamaaliheittimen osalta voidaan määrittää onnistumistodennäköisyys. Ohjelma laskee harhamaalinheittimen onnistumistodennäköisyyden ainoastaan, jollei ilmator-juntaohjuksilla ja tykillä ole vielä onnistuttu torjumaan MTO:ta. Osuma- ja onnistumis-todennäköisyyksien osalta oletetaan, että osuma tai onnistuminen on aina riittävä oh-juksen tuhoamiseen / harhauttamiseen. Kaikki osumatodennäköisyydet ohjelma las-kee käyttämällä erillisiä satunnaislukuja, joita verrataan käyttäjän antamiin osumato-dennäköisyyksiin.

Meritorjuntaohjus on simuloitu laskentamalliin siten, että käyttäjä kykenee määrittä-mään ohjuksen korkeuden merenpinnasta, ohjuksen tutkapoikkipinta-alan (RCS) se-kä ohjuksen nopeuden. Ohjelma olettaa, että kohti ammuttu ohjus osuu aina maaliin. Ohjuksen korkeus vaikuttaa optiseen- ja tutkahorisonttiin, jotka vaikuttavat maksi-maalisiin havaintoetäisyyksiin. Ohjus lähestyy alusta sattumanvaraisesta suunnasta, joka saadaan tuottamalla satunnaisluku lukujen 1 ja 360 väliltä. Luku tuotetaan oh-jelmaan joka kerta uudelleen laskutoimituksia tehdessä.

Matemaattisesta mallista on jätetty pois sään ja mahdollisen elektronisen häirinnän vaikutus. Tämä on tehty, jotta saadut tulokset olisivat mahdollisimman yksinkertaisia ja soveltuisivat suuntaa antavina käytettäväksi useimpiin tilanteisiin. Sään ja olosuhteiden vaikutusta torjunnan onnistumiseen on myös erittäin vaikea arvioida, koska ne vaikuttavat moniin eri torjunnan osa-alueisiin. Tosin sään ja elektronisen häirinnän vaikutusta voidaan tavallaan kuvata vaikuttamalla epäsuorasti eri sensoreiden ja aseiden lähtöarvoihin.

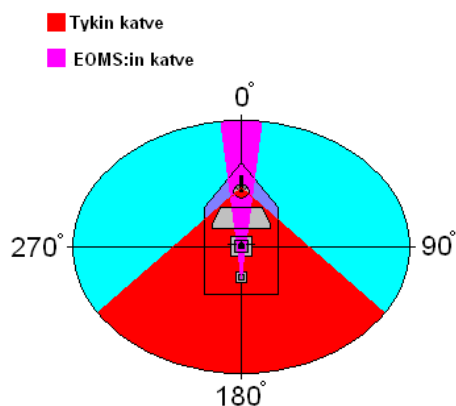
Tässä työssä tarkastellaan ohjuksen torjuntaa matemaattisesti yksinkertaisilla menetelmillä. Käytetyt sensoreiden ja aseiden suorituskykyä ilmoittavat arvot on otettu julkisista lähteistä eivätkä välttämättä täysin vastaa todellisia arvoja. On oletettavaa, että kyseiset arvot ovat jonkin verran todellista suorituskykyä parempia, koska ne on saatu pääosin eri valmistajien ilmoittamista tiedoista, jotka on tarkoitettu samalla markkinoimaan aseiden ja sensorien ominaisuuksia.

6.2 Tulokset



Kuva 5: Laskennan pohjana käytetty aluksen siluetti

- 1. Keskimatkan valvontatutka
- 2. EOMS
- 3. Tulenjohtoseurain
- 4. Yleistykki
- 5. Ilmatorjuntaohjukset
- 6. Harhamaalinheittimet



Kuva 6 Laskennassa käytetyt sensorien ja aseiden katveet (Tykki 135°–225°, EOMS 355°–005°)

Ensimmäisessä laskelmassa käytetyt arvot ovat:

- EOMS: korkeus 8 m, katve 355°–5° ja korjauskerroin 80%
- Tutka: korkeus 10 m, lähetysteho 100 kW, aallonpituus 0,06 m antennin koko 3 m² ja pienin havaittava teho 10⁻¹³ W
- Ilmatorjuntaohjus: nopeus 2 mach, maksimikantama 10 km, ohjusten välinen aika 2 s ja osumatodennäköisyys 60%
- Tykki: osumatodennäköisyys 40% ja katve 135°–225°
- Harhamaalinheitin: onnistumistodennäköisyys 80%
- Operaattorin käyttämä aika 3 s
- Meritorjuntaohjus: Nopeus 0,8 mach, RCS 0,05 ja lentokorkeus 10 m

Arvot on saatu luomalla kuvitteellinen ohjusveneeseen siluetti sekä käyttämällä valmistajien ilmoittamia tietoja sellaisista järjestelmistä mitä ohjusveneellä voisi olla. Ohjuksen osalta arvot vastaavat tyypillistä länsimaista keskiraskasta meritorjuntaohjusta, jossa on sea-skimming toiminto [23, 25, 30]. Kaikki laskennat suoritettiin 50 kertaa eli yhteensä laskuja suoritettiin 250 kappaletta.

Ensimmäinen laskenta:

Ohjus havaittiin aina tutkalla 16,2 km etäisyydellä, jolloin aikaa ennen iskuhetkeä oli noin 60 s. Ensimmäisellä ohjuksella MTO torjuttiin 28 kertaa. Toisella ohjuksella MTO torjuttiin 14 kertaa, kaksi kertaa kolmannella, kolme kertaa neljännellä ja kerran 5,6 ja 7:nellä ohjuksella. Keskimääräiseksi torjuntaetäisyydeksi tuli n. 9110 m, etäisyys oli pienimmillään 2780 m. Keskimääräiseksi ohjuskulutukseksi tuli 2,9 kappaletta.

Toinen laskenta:

MTO:n arvoja muutettiin siten, että ne voisivat vastata lähitulevaisuuden arvoja. Laskennassa käytettiin seuraavia arvoja: Nopeus 1,6 mach (100% nopeuden kasvu), RCS 0,025 (50% tutkapinta-alan lasku) ja korkeus 10 m. Muuten laskenta suoritettiin samoilla arvoilla kuin edellä.

Ohjus havaittiin 49 kertaa EOMS:illa noin 15 km etäisyydellä, jolloin aikaa ennen iskuhetkeä oli 27,5 s, ja kerran tutkalla, johtuen EOMS:in katveesta, 13,6 km etäisyydellä, jolloin ajaksi tuli 25 s. Ohjusta olisi kyetty torjumaan maksimissaan viidellä ilmatorjuntaohjuksella. Ensimmäisellä ohjuksella MTO torjuttiin 21 kertaa. Toisella ohjuksella MTO torjuttiin 18 kertaa, viisi kertaa kolmannella, neljä kertaa neljännellä ja kerran tykin ensimmäisellä sarjalla. Keskimääräiseksi torjuntaetäisyydeksi tuli 6920 m, etäisyys oli tällä kertaa pienimillään 2510 m. Keskimääräiseksi ohjuskulutukseksi tuli 2,4 kappaletta.

Kolmas laskenta:

Kolmannessa laskennassa MTO:n arvoja muutettiin siten, että niiden voidaan ajatella kuvaavan erittäin kehittynyttä tulevaisuuden ohjusta. Nopeus 3,2 mach (100% kasvu edelliseen), RCS 0,0125 (50% lasku edelliseen), korkeus 10 m. EOMS: on poistettu käytöstä laskemalla korjauskerroin 0%. Tämä on tehty, jotta voidaan tarkastella pelkästään tutkan avulla tehtävää havainnointia ja sen merkitystä torjuntaan. Muuten laskenta suoritettiin samoilla arvoilla kuin edellä.

Ohjus havaittiin tutkalla n. 11,5 km etäisyydellä, jolloin torjuntaan jäi käytettäväksi aikaa yhteensä 10,5 sekuntia. Edellä mainituilla arvoilla tämä tarkoitti sitä, että ilmatorjuntaohjuksia kyettiin laukaisemaan ainoastaan kaksi kappaletta eli yksi salvo ennen kuin MTO oli liian lähellä. Viidessäkymmenessä laskutoimituksessa ohjus onnistuttiin kuitenkin joka kerta tuhoamaan tai harhauttamaan. MTO torjuttiin puolestaan 28 kertaa ensimmäisellä ohjuksella n. 4400 m päässä aluksesta ja 14 kertaa toisella ohjuksella n. 2230 m päässä aluksesta. Kahdeksalla kerralla MTO:ta ei onnistuttu tuhoamaan ilmatorjuntaohjuksilla. Tällöin MTO saatiin tuhottua 5 kertaa tykin ensimmäisellä sarjalla ja kolme kertaa harhamaalinheittimellä.

Neljäs laskenta:

Neljännessä laskennassa MTO:n arvot olivat muuten samat kuin kolmannella kerralla, mutta ohjuksen korkeus laskettiin kuuteen metriin. Tällä on kuvattu entistä parempaa sea-skimming kykyä. Kaikkien efektoreiden osumatodennäköisyys pudotettiin 50% edellä käytetyistä arvoista. Näin menetellen pyrittiin korjaamaan mahdollisia valmistajan ilmoittamia liian korkeita suoritusarvoja. EOMS:in korjauskertoimena on käytetty arvoa 70%.

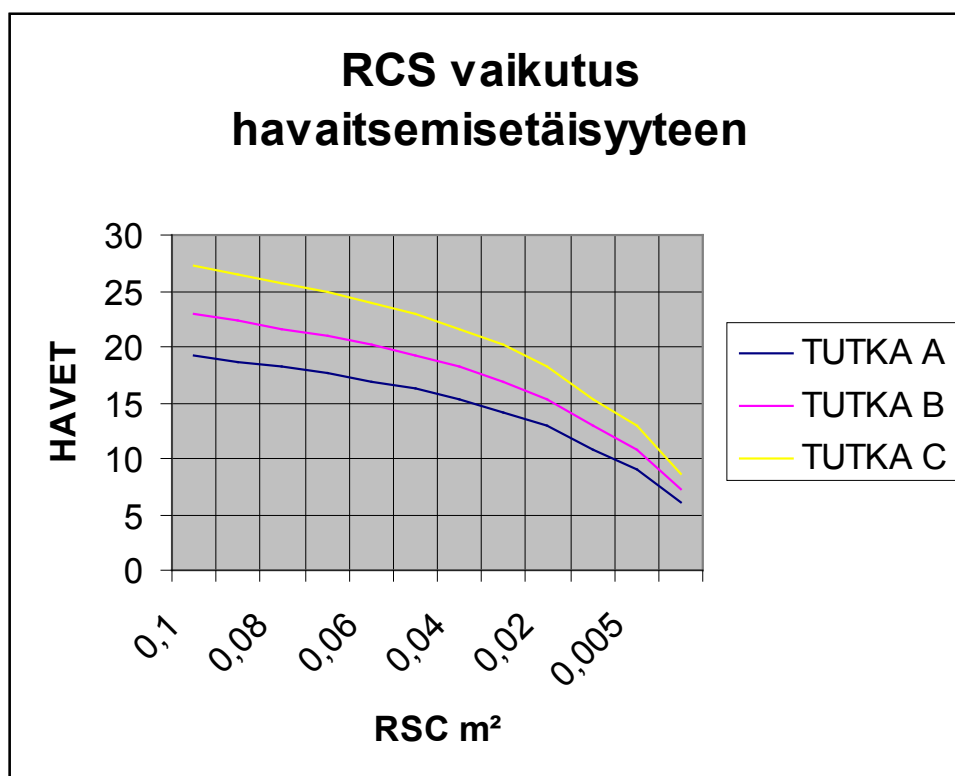
Ohjus havaittiin EOMS:illa 13,2 km päästä, jolloin torjuntaan käytettäväksi kokonaisajaksi jäi 12,1 s. Tämä tarkoitti sitä, että ilmatorjuntaohjuksia kyettiin ampumaan kaiken kaikkiaan maksimissaan kolme kappaletta, ennen kuin maali oli liian lähellä alusta. Ohjus torjutti yhteensä 18 kertaa ensimmäisellä ohjuksella etäisyyden ollessa n. 5070 m. Toisella ilmatorjuntaohjuksella ohjus torjutti yhteensä 12 kertaa, etäisyydellä n. 2900 m ja kolmannella ohjuksella kolme kertaa, jolloin etäisyydeksi jäi n. 1110 m. Tykin ensimmäisellä sarjalla ohjus torjuttiin neljä kertaa ja toisella sarjalla kolme kertaa. Harhamaalinheittimellä meritorjuntaohjus torjuttiin yhteensä neljä kertaa. Ohjus osui kohteeseen kuusi kertaa.

Viides laskenta:

Viidennessä laskennassa MTO:n arvot pidettiin samoina kuten kolmannessa laskennassa. Ilmatorjunta ohjusten nopeutta kasvatettiin 50%. Sammalla tutkan pinta-alaa ja lähetystehoa lisättiin 100%. EOMS korjauskertoimena käytettiin arvoa 0%. Tällä järjestelyllä on pyritty kuvaamaan mahdollisesti tulevaisuudessa tapahtuvaa kehitystä aluksen ilmatorjuntaohjusten ja tutkan osalta.

MTO havaittiin tutkalla 19,2 km etäisyydellä, jolloin torjuntaan käytettäväksi ajaksi jäi 17,7 sekuntia. Edellä mainituilla arvoilla kyettiin laukaisemaan yhteensä kolme ilma-
torjuntaohjusta ennen kuin MTO oli liian lähellä. Peräti 49 keralla viidestäkymmenestä MTO torjuttiin ilmatorjuntaohjuksilla. Näistä 31 kertaa ensimmäisellä ohjuksella, jolloin torjuntaetäisyydeksi tuli 9310 m. Vastaavasti toisella ohjuksella 12 kertaa, jolloin torjuntaetäisyydeksi tuli 7135 m ja kuusi kertaa kolmannella ohjuksella 3452 metrin päässä aluksesta. Kerran ohjus torjuttiin tykin ensimmäisellä sarjalla.

Alla oleva taulukko esittää kolmen eri tutkan havaitsemisetäisyydet suhteessa tutkapoikkipinta-alaan:



Taulukko 6.2 Meritorjuntaohjuksen tutkapoikkipinta-alan vaikutus havaitsemisetäisyyteen eräillä tutkilla.

Havaitsemisetäisyys on laskettu matemaattisessa mallissa käytetyllä tutkayhtälöllä. Tutka A on ensimmäisessä, toisessa ja kolmannessa laskussa käytetty tutka. Tutka B eroaa A tutkasta maksimaalisella lähetystehon arvon osalta, joka on tutkassa B 200 kW kun se tutkassa A on 100 kW. Tutka C eroaa tutkasta A antenninkoolla, joka on tutkassa A 3 m² ja tutkassa C vastaavasti 6 m².

6.3 Johtopäätökset

Matemaattisen mallin avulla saatujen tulosten valossa näyttäisi, että yksittäisen meritorjuntaohjuksen torjunta on nyt ja tulevaisuudessakin erittäin todennäköistä. Näin etenkin siinä tapauksessa, että efektoreiden osumatarkkuudet ovat sitä luokaa miksi valmistaja on ne ilmoittanut. Täytyy kuitenkin muistaa, että matemaattinen malli on laadittu siten, että alus on käytännössä valmistautunut torjumaan ohjusta. Tällöin aseiden ja operaattorin käyttämät ajat on voitu asettaa melko alhaisiksi.

Tuloksista käy ilmi, että ohjusveneen on kyettävä tulevaisuudessa suorittamaan torjunta kokonaisuudessaan mahdollisesti jopa alle kymmenessä sekunnissa. Tämä johtuu suurimmaksi osaksi meritorjuntaohjuksien ominaisuuksien paranemisesta. Tekninen kehitys mahdollistaa ohjuksille jatkossa entistä suuremmat nopeudet sekä pienemmän tutkapinta-alan.

Torjuntajärjestelmiltä tämä vaatii entistä enemmän täysin automaattisia toimintoja, joilla nopeutetaan toimintaa. Järjestelmien tulee kyetä suorittamaan valmistelevia ja yhdenaikaisia toimenpiteitä jo ennen torjunnan aloittamista. Tarkoituksena on saavuttaa nopeammat reagointiajat verrattuna siihen, että toimintojen aloitus alkaisi vasta sen jälkeen kun edellinen toiminta on suoritettu loppuun asti.

Kaikkia toimintoja tuskin tulevaisuudessakaan tullaan automatisoimaan. Ne toiminnot, joita ei kyetä tai ei haluta automatisoida, toteutetaan jatkossakin operaattorin toimesta. Operaattorin toimenpiteisiin kuluttama aika tulee kuitenkin minimoida. Ajan minimoimiseksi pitää kiinnittää huomiota koulutukseen sekä taistelunjohtojärjestelmän käyttöliittymään. Koulutuksen pitäisi olla täysin todellisen tilanteen kaltainen. Näin voidaan varmistua siitä, että todellisessa tilanteessa kyetään toimimaan riittävän nopeasti. Käyttöjärjestelmää tulisi kyetä muokkaamaan siten, että operaattori voi muokata siitä itselleen mahdollisimman nopeasti käytettävän.

Asejärjestelmien osalta ohjustorjunnan kannalta erityisen merkitykselliseksi osu-
matodennäköisyyksien lisäksi tulee olemaan aseiden vaatima aika torjunnan aloitta-
miseksi. Torjunnan aloittamista voidaan nopeuttaa esimerkiksi tykeillä kasvattamalla
niiden suuntaamisnopeuksia. Ilmatorjuntaohjuksien osalta puolestaan ohjusten sijoit-
telulla ja erilaisilla ohjuslavettiratkaisuilla voidaan saavuttaa aikavoittoa. Tällä tarkoi-
tetaan lähinnä erilaisia suunnattavia lavetteja, joiden avulla ohjus saadaan välittömäs-
ti lähtemään oikeaan suuntaan.

Maalin tutkapinta-alan pienentyessä muiden sensorien kuin tutkan merkitys korostuu
maalien havaitsemisessa. Varsinkin erilaisten lämpöherätteiden havaitsemiseen tar-
koitettujen sensoreiden merkitys tulee korostumaan lähitulevaisuudessa. Tämä joh-
tuu siitä, että mikäli maalin tutkapoikkipinta-ala pienene riittävästi kyetään maalin ai-
heuttama lämpöheräte havaitsemaan kauempaa kuin se voidaan havaita tutkalla.
Havaintoetäisyys tulee kasvamaan eri lämpöherätteitä vaativilla sensoreilla entises-
tään, mikäli tulevaisuuden meritorjuntaohjuksissa yleistyvät erilaiset patomoottorit.
Tämä johtuu patomoottoreiden aiheuttamasta suuremmasta lämpöherätteestä verrat-
tuna perinteiseen suihkumoottoriin.

Muiden ohjuksen havaitsemiseen käytettävien sensorien kuin tutkan merkityksen ko-
rostuminen aiheuttaa todennäköisesti muutoksia tulevaisuuden aluksilla. Tällä hetkel-
lä käytössä olevilla aluksilla erilaiset tutkat ovat yleensä aluksen pääsensoreita. Tä-
mä näkyy tutkien sijoittelussa aluksella. Tutka pyritään sijoittamaan aluksella siten,
että niillä ei ole katvealueita tai ne ovat mahdollisimman pienet. Tällöin usein muut
sensorit joudutaan sijoittamaan siten, että niille jää katvealueita. Ratkaisuna ongel-
maan voidaan käyttää kahta samanlaista sensoria siten, että katvealueita ei käytän-
nössä jää. Ratkaisun haittapuolena on kuitenkin hinta sekä tilantarve verrattuna yh-
destä sensorista koostuvaan ratkaisuun. Tilantarve korostuu erityisesti pienillä aluk-
silla kuten ohjusveneillä, joilla on muutenkin vain vähän tilaa käytettävissään.

Useamman kuin yhden meritorjuntaohjuksen hyökkäyksessä korostuu erityisesti
aluksen kyky torjua useita maaleja samanaikaisesti. Otetaan esimerkiksi matemaatti-
sessa mallissa käytetty alus, joka on varustettu harhamaalinheittimillä, lämpöhakeu-
tuvilla ilmatorjuntaohjuksilla sekä yleistykillä. Oletetaan, että torjuntaan on käytettä-
vissä kymmenen sekuntia. Mikäli torjuntaa ei kyettäisi toteuttamaan useaan maalin
yhtä aikaa, jäisi yhteen ohjukseen käytettäväksi ajaksi 3,3 sekuntia. On selvää, että
kaikkia ohjuksen torjuntaan tarvittavia toimia ei kyetä toteuttamaan 3,3 sekunnissa.

Tilanteessa, jossa useampi meritorjuntaohjus uhkaa alusta, eri asejärjestelmien tulisi kyetä torjumaan itsenäisesti eri maaleja. Esimerkiksi tässä tilanteessa ilmatorjuntaohjuksilla voitaisiin torjua yhtä maalia, tykillä yhtä ja harhamaalinheittimellä yhtä.

Yhtä aikaa useita maaleja torjuttaessa erityisen merkitykselliseksi tekijäksi tulee yksittäisten efektoreiden kyky torjua maali, mikäli kaikkia maaleja ei kyetä torjumaan yhdellä efektorilla. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjusveneillä tulisi olla useampia järjestelmiä, joilla kyetään torjumaan tehokkaasti meritorjuntaohjuksia.

Toinen asia, mikä ohjusveneellä saattaa tulla ongelmaksi useamman kuin yhden meritorjuntaohjuksen hyökkäyksessä, on ohjuskulutus. Mikäli ohjuskulutus on keskimäärin yli kaksi kappaletta yhtä MTO:ta kohden, niin yli neljän meritorjuntaohjuksen hyökkäyksessä ei aluksella ole enää ohjuksia käytettävänä. Ongelma korostuu erityisesti jouduttaessa olemaan pitkiä aikoja merellä, jolloin alus ei kykene täydentämään itsenäisesti omia ohjuksiaan.

Matemaattinen analyysi ei ole kaikkiin tilanteisiin sopiva metodi. Se voi yleensä ottaa huomioon vain muutamia tilanteeseen vaikuttavia muuttujia ja parametreja, niin myös tässä tutkimuksessa. Mikäli kyseiset muuttujat ovat olennaisia, analyysin tulos antaa kuitenkin oikeaa tietoa. Saadut tulokset voivat lukuina olla virheellisiä mutta riippuvuudet eri parametrien kesken saattavat silti osoittaa oikeaa yhteyttä. Eli jos jotain parametria muutetaan tiettyyn suuntaan niin lopputulos tai sen suunta saattavat olla ennustettavissa [32].

Lopputuloksena voidaan todeta, että matemaattisen mallin tulokset ovat suuntaa-antavia sille päätelmälle, että nykyaikaisen ohjusveneen kyky torjua tällä hetkellä käytössä olevia meritorjuntaohjuksia on hyvä. Tulevaisuudessa kuitenkin lyhyt reagointiaika oletettavasti aiheuttaa uusia haasteita ohjusten torjunnalle. Täytyy myös muistaa, että tässä työssä käytetyllä mallilla ei tutkittu useamman ohjuksen yhtäaikaista hyökkäystä. Tämä vaatisi selvästi lisätutkimusta, jonka avulla malli vastaisi paremmin todellisuutta. Lisätutkimuksia puoltaisi myös se seikka, että matemaattinen malli on erittäin edullinen tapa hankkia tietoa eri torjuntaosa-alueiden merkityksestä. Se ei vaadi erityisen kalliita välineitä tai materiaalia. Parhaimmillaan malli on silloin, kun käytettävänä on luotettavaa faktatietoa [32].

7. YHTEENVETO

Hamina-luokan alus edustaa maailmallakin tällä hetkellä uudenaikaista ja kehittynyttä ohjusvenettä. Sen kyky torjua kohti ammuttuja meritorjuntaohjuksia on erittäin hyvä. Aluksella on monipuolinen asejärjestelmä sekä uudenaikainen taistelunjohtojärjestelmä. Suurimpana ongelmana meritorjuntaohjuksen torjunnassa tulee todennäköisesti olemaan henkilöstön koulutus ja järjestelmien asetukset. Tämä siksi, että meritorjuntaohjus tulee kyetä torjumaan alle kymmenessä sekunnissa sen havaitsemisesta. Teoriassa järjestelmien suorituskyky kyllä riittää tähän.

Tällä hetkellä suurin osa käytössä olevista meritorjuntaohjuksista on aliaääninopeuksilla toimivia. Tulevaisuudessa moottoritekniikan kehityksestä johtuen lähes kaikissa ohjuksissa tullaan saavuttamaan moninkertainen äänennopeus. Nopeuden lisäämisen vaikutuksena on kuitenkin lämpöherätteen kasvu ja todennäköisesti osumatodennäköisyyksien pieneneminen.

Käytössä olevien meritorjuntaohjusten tutkapinta-ala on tällä hetkellä luokkaa 0,03 m². Häiveteknologian viimeaikainen kehitys mahdollistaa kuitenkin huomattavasti pienemmän tutkapinta-alan. Se saavutetaan muuttamalla ohjuksen rungon muotoa sekä pinnoittamalla runko tutkasäteilyä absorboivalla aineella. Näillä keinoilla voidaan ohjuksen tutkapinta-ala pienentää jopa yhteen neljäsosaan nykyisestä, tosin tämä pienennys vaihtelee eri lähteistä riippuen.

Ohjuksen torjunnan kannalta käytettävissä olevan ajan merkitys tulee korostumaan tulevaisuudessa. Käytettävissä oleva aika tulee merkittävästi lyhenemään johtuen meritorjuntaohjuksen kehityksestä. Ajan lyheneminen aiheuttaa muutoksia torjunnan järjestelyihin. Torjunta toteutetaan enenevässä määrin automaattisesti. Merkille pantavaa on myös se, että yhteen kohti tulevaan ohjukseen joudutaan käyttämään myös paljon ampumatarvikkeita. Tämä johtuu siitä, ettei toiseen mahdollisuuteen välttämättä ole aikaa.

Havaitsemiseen käytettävien sensorien osalta joudutaan mahdollisesti miettimään uusia ratkaisuja. Näin siitä syystä, että tutka ei välttämättä ole enää tulevaisuudessa se sensori, jolla ensimmäinen havainto uhkaavasta maalista saadaan. Lämpöherätetty havaitsevien sensorien merkitys tulee korostumaan. Niiden ongelmana on kuitenkin riippuvuus vallitsevista sääoloista.

Tätä opinnäytetyötä varten tehtyä matemaattista mallia voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi vaatimusten määrittelyissä eri ohjusveneille. Malli mahdollistaa yhden lisätarkastelutavan tutkittaessa aluksen ohjustorjunta mahdollisuutta. Sitä kyetään myös tarvittaessa käyttämään esimerkiksi merivoimien sotapeleissä meritorjuntaohjuksen osumatodennäköisyyden määrittämiseen. Mallin suurimpana puutteen kirjoittaja kokee mahdollisuuden mallintaa useampaa kuin yhtä ohjusta. Mallin puutteellisuudesta johtuen aiheesta tulisi tehdä lisätutkimuksia.

Lisätutkimuksia tulisi tehdä ainakin seuraavista asioista:

- Ohjuksen torjuntamahdollisuudet useamman kuin yhden ohjuksen hyökkäyksessä
- Sään vaikutus ohjustorjuntaan
- Operaattorin toimenpiteet ohjustorjuntaan liittyen
- Eri torjuntajärjestelyiden mahdollisuudet
- Ilmatorjuntaohjusten kyky torjua yli 3 Mach lentävää maalia

Uusilla tutkimuksilla saataisiin lisävalaistusta ohjusveneen mahdollisuuksista torjua meritorjuntaohjus kaikissa olosuhteissa. Näiden tutkimusten avulla kyettäisiin myös parantamaan matemaattista mallia, jolloin se ottaisi paremmin huomioon kaikki, myös ulkopuoliset, tekijät.

LÄHTEET

[1] Archer, E., Garland-Collins, T.K., Johnsson, D E., Lee, R.G., Moss, G M., Mowat, A W ja Sparkes C: Guided weapons, BPCC Wheatons Ltd, Iso-Britannia 1988, ISBN 0-08-035827-6

[2] Dickerson, Larry: Anti-Ship missiles worldwide. Naval Forces, Vol. XXVI, NO.VI/2005, ISSN 0722-8880, s.58 – 62.

[3] Hall, P.S., Garland-Collins, T.K., Picton, R.S. ja Lee, R.G. : RADAR, BPCC Wheatons Ltd, Iso-Britannia 1991, ISBN 0-08-037711-4

[4] Heiskanen, Seppo: Ohjustekniikan perusteita, AR-KUSTANNUS Oy Forssa 1993, ISBN 951-95821-3-4

[5] Hewson Robert , Dragon's teeth – Chinese missiles raise their game. Jane's Navy International, Volume 112, issue 1, January/February 2007, s.19 – 23.

[6] http://www.defenseindustrydaily.com/images/ORD_RBS-15_Cutaway_lg.gif, 6.11.2007

[7] <http://www.eadsnorthamerica.com/xml/content/OF00000029700002/8/36/40619368.jpg>, 04.11.2008

[8] <http://www.eads.com/xml/content/OF00000000400004/7/88/41917887.pdf>, 04.11.2008-101/sys/missile/row/index.html, 10.09.2007

[9] <http://www.global-defence.com/2001/MSpart4.html>, 30.10.2007

[10] http://www.harpoonhq.com/waypoint/articles/Article_008.pdf, 10.09.2007

[11] http://www.ilmatorjuntaupseeriyhdistys.fi/3_2003/tekstit/meriv.htm, 26.11.2008

[12] http://www.naval-technology.com/contractors/data_management/saab-ab/saab-ab4.html, 04.11.2008

[13]

http://www.navlab.net/Publications/Terrain_Navigation_Principles_Application.pdf,
10.09.2007

[14] <http://www.radartutorial.eu>, 26.11.2008

[15] <http://www.rannikonpuolustaja.fi/rp204/kehitt.htm>, 04.11.2008

[16] <http://www.rannikonpuolustaja.fi/rp402/laiv2000.htm>, Pasi Lintuaho

[17] <http://www.rheinmetall-detec.de/index.php?fid=1606&lang=3&pdb=1>
25.12.2008

[18] <http://www.youtube.com/watch?v=MVih2G0TMBQ>, 04.11.2008 Hamina-luokan
esittelyvideo

[19] <http://fi.wikipedia.org/wiki/Mach-luku>, 26.11.2008

[20] http://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_pulssi
20.2.2009

[21] Jacobs, Keith: Anti-air missiles – able to cope with an increasingly sophisticated threat? Naval Forces, Vol. XXVII, NO.V/2006, ISSN 0722-8880, s.66 – 73.

[22] Jane's Fighting Ships tietokanta (www.janes.com) 10.10.2007

[23] Jane's Naval Weapon Systems tietokanta (www.janes.com) 10.10.2007

[24] Jane's Radar and Electronic Warfare Systems (www.janes.com) 10.10.2007

[25] Janssen, Joris: Modern navy missiles march on. Jane's International defence review, volume number 38, April 2005 s, 47, 48.

[26] Jokinen, Janne ja Kosola, Jyri: Elektroninen sodankäynti, osa 1- taistelun viides dimensio, Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikanlaitos, Julkaisusarja 5 n:o 2/2004 Helsinki 2004, ISBN 951-25-1554-7

- [27] Jormakka, Jorma ja Rissanen, Antti: State-of-the-Art in Sensors, Maanpuolustuskorkeakoulu, Sotatekniikanlaitos, Julkaisusarja 1 n:o 24 Helsinki 2006, ISBN 951-25-1650-0
- [28] Kaukoranta, Timo ja Hautala, Jukka ja Kakkola, Timo. Taisteluvälineet 2020, Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikanlaitos, Julkaisusarja 1 n:o 10/2002, Helsinki 2002, ISBN 951-25-1324-2
- [29] Korhonen Jukka, Korhonen Markku: Ilmatorjuntaohjusjärjestelmien kehityssuunnat, Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikanlaitos, Tekniikan asiatietoa, Julkaisusarja 3, Helsinki 1999, ISBN 95125-1112-6
- [30] Kosola, Jyri ja Solante, Tero: Digitaalinen taitelukenttä, Informaatioajan sotakoneen tekniikka, Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikanlaitos, Julkaisusarja 1 n:o 13, Helsinki 2003, ISBN 951-25-1449-4
- [31] Lappalainen, Esa ja Jormakka, Jorma. Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa. Mpkk Tekniikan laitos. julkaisusarja 5. Edita Prima Oy. Helsinki 2004
- [32] Lundquist, Edward H.: Naval guns and naval missiles – partners or competitors? Naval Forces, Vol. XXVIII, NO.IV/2007, ISSN 0722-8880, s.100 – 109.
- [33] Nykysuomen sanakirja, osat I ja II A – K, WSOY:n graafiset laitokset, Porvoo 1978, ISBN 951-0-02765-0
- [34] Ohjusoppi, PvMatLE/elektroniikkaosasto, ohjusjaosto 10. joulukuuta 2002 (pdf) materiaali tekijän hallussa
- [35] Puolustusjärjestelmien kehitys – Sotatekninen arvio ja ennuste 2020, STAE 2020, osa 2. Pääesikunnan Sotatalousosasto 2004, Helsinki, ISBN 951-25-1532-6
- [36] Puolustusvoimien määritelmä rekisteri
- [37] Pusta Anil, Layered air defence: protecting the fleet. Naval Forces, Vol. XXIII, NO.V/2002, ISSN 0722-8880, s.30 – 37.

[38] Pyysalo, Raimo: Onnistunut ohjushyökkäys.

Rannikon puolustaja, 50. Vuosikerta, 1/2007 ISSN 1239-0445 s.102 – 105.

[39] Scott, Richard: Anti-Ship weapons updated to target the shore.

Jane's Navy International, Volume 110, number 6, July/August 2005, s.20 – 26.

[40] Scott, Richard. Tailoring effective soft-kill for the small ship cause.

Jane's Navy International, Volume 111, issue 9, November 2006, s.18 – 21.

[41] Tekijän piirtämä, alkuperäisen kuvan pohjalta. (Hanses, Heinz-Dieter: Anti ship missiles (ASM) and countermeasures (part II ASMD).

Naval Forces, Vol. XXII, NO.II/2001, s.14)

[42] Teknologian kehitys – Sotatekninen arvio ja ennuste 2020, STAE 2020, osa 1.

Pääesikunnan Sotatalousosasto 2004, Helsinki, ISBN 951-25-1532-6

[43] Till, Geoffrey, Sea power: a guide for the twenty-first century, FRANK CASS

PUBLISHERS, London 2004, ISBN 0-7146-8436-8

[44] Vilkkä, Hanna. Tutki ja kehitä. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Helsinki 2005

[45] Virta, Pasi (kääntänyt): Teknisen kehityksen suuntalinjat (alkuperäinen teos

FMV, Tekniska Utvecklingstrender), Maanpuolustuskorkeakoulu, Tekniikanlaitos, Julkaisusarja 4 n:o 1, Helsinki 2002, ISBN 951-25-1338-2

LIITTEET

Liite 1: Esimerkki kuva Excel-tilukkolaskentaohjelman tulossivusta

Liite 2: Esimerkki kuva Excel-tilukkolaskentaohjelman laskentasisivusta

MERITORJUNTAOHJUS		ILMATORJUNTAOHJUS		TYKKI	
Nopeus (V _i)	0,8 mach	Nopeus(V ₂)	2 mach		
RCS (σ ²)	0,05 m ²	Max. kantama	10 km	Osumätodennäköisyys 40 %	
Korkeus (h ₁)	10 m	Ohjusten välinen aika	2 s	Kätye vasenraja 225 °	
Lähestymis suunta	180 °	Osumätodennäköisyys	60 %	Kätye oikearaja 135 °	

EOMS		TUTKA		HARHMAALIN HEITIN	
Korkeus (h ₂)	8 m	Korkeus (h ₂)	10 m	Onnistumistodnäk. 80 %	
Teho max. etäisyydestä	70 %	Lähetysteho (P _i)	100 kW		
Kätye vasenraja	355 °	Aallonpituus (λ)	0,06 m		
Kätye oikearaja	5 °	Antennin koko (A)	3 m ²		
		Pienin havaittava teho (P _{mn})	1E-13 W		

Operatorin käyttämä aika			3 s		
HAVAITSEMINEN			TORJUNTA: - ei annettu 1=osui 0=ohi		
HAVET.	1E,17946 km		OSUMA		
EOMSTUTKA	TUTKA		OSUIKO ET.		
Torjuntaan käytettävä kokonaisaika (s)		59.53195			
		10HJUS	0 s	m	
		20HJUS	0 s	m	
		30HJUS	1 s	6794,6 m	
		40HJUS	0 s	m	
		50HJUS	0 s	m	
		60HJUS	0 s	m	
		70HJUS	0 s	m	
		80HJUS	0 s	m	
		1SARJA	0 s		
		2SARJA	0 s		
		HARHAMALI	0 s		

LIITE 2

HAVAITSEMINEN

Optinen horisontti	EOMS:in havainto etäisyys	21,38681608 km	EOMS:illa katve:	EPÄTOSI
Eomsin havainto etäisyys		14,97077126 km		TOSI
Tutka horisontti	TUTKAN havainto etäisyys	26,06833458		
Tutka max havet		16,17946226	16,17946 km	
Apulasku 1 yhtälön yläosa		108212159		
Apulasku 2 yhtälön alaosa		1,57914E-09		
Apulasku 3 jakolasku		6,85262E+16		
Ae		2,49		
G		8691,739675		
L		100		
η		0,83		
Tutka/EOMS	TUTKA			
HAVET KM		16,17946226	16179,46 m	
Torjuntaan käytettävissä oleva aika (iskuhetki)			59,53195 s	
Torjunnan maksimaalinen aloitus aika		52,53195437		
MTO:n aika äärikantamalle		22,7371874	s	
ITO:n aika äärikantamalle		14,71790679	s	
Torjunna aloitus aika		44,51267375	s	Torjunnan aloitamis aikaan vaikuttava luku aika ilmoitetaan ennen kuin MTO osuu kohteeseen

	voidaanko ohjus ampua	osuiko ohjus	millä etäisyydellä
1.ohjus	K	0	10000
2.ohjus	K	0	9456,444
3.ohjus	K	1	6754,603
4.ohjus	K	0	6211,048
5.ohjus	K	1	4436,463
6.ohjus	K	0	3892,907
7.ohjus	K	1	2780,648
8.ohjus	K	1	2237,092

	osuiko	onko katveessa
1.sarja	0	E
2.sarja	0	

	Ammutiinko Kyllä/Ei	Torjuiko heite
MASS	0	1

Torjuntojen summa (8+2)	1	MASS
Torjuntojen summa (2)	0	
Torjuntojen summa (4)	1	
Torjuntojen summa (6)	1	
Torjuntojen summa (8)	1	SARJA 1
Torjuntojen summa (8+1)	1	SARJA 2

